

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Методические указания
по выполнению лабораторных работ
по дисциплине
«Методы создания и развития государственных геодезических сетей»
для студентов направления подготовки 21.03.02 Землеустройство и кадастры

Ставрополь
2026

СОДЕРЖАНИЕ

Введение

Лабораторное занятие № 1.

Лабораторное занятие № 1.

Лабораторное занятие № 3.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность учебной дисциплины "Методы создания и развития государственных геодезических сетей" обусловлена современными требованиями к точности, надежности и эффективности геодезической и картографической деятельности в условиях быстрого технологического прогресса и цифровизации. В условиях развития инфраструктуры, строительства, природных и техногенных рисков, а также необходимости обеспечения национальной безопасности, государственные геодезические сети играют ключевую роль в получении и поддержании актуальной пространственной информации.

Цель пособия. Ознакомить студентов с современными методами и технологиями создания, развития и эксплуатации государственных геодезических сетей, обеспечить понимание их роли в обеспечении точных геодезических измерений, картографирования и кадастровых работ.

Задачи освоения дисциплины:

- Изучить теоретические основы организации и функционирования государственных геодезических сетей.
- Ознакомить с методами проектирования, построения и модернизации геодезических сетей.
- Рассмотреть современные технологические средства и программное обеспечение, используемые в управлении и развитии геодезических систем.
- Объяснить принципы обеспечения точности, надежности и актуальности геодезических данных.
- Обучить методам планирования и проведения мониторинга состояния и развития геодезических сетей.
- Ознакомить с нормативно-правовыми аспектами и стандартами в области геодезии и картографии.

В результате усвоения тем и разделов дисциплины, работы на лабораторных занятиях у обучающихся должны сформироваться следующие компетенции:

ПК-9 - Способен осуществлять планирование (проектирование), контроль и обработку инженерно-геодезических изысканий

Методические указания выступают в качестве информационного и практического источника.

ЛАБОРАТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ

Лабораторное занятие № 1. Определение координат начального пункта спутниковой геодезической сети в геоцентрической системе координат

Цель работы: привязка создаваемой спутниковой геодезической сети (СГС) к мировой геоцентрической системе координат путем определения координат начального пункта этой сети в СК ITRF по результатам обработки (в программном обеспечении Leica Geo Office) длительных статических ГНСС-измерений. По итогам выполнения ЛР-1 студент должен практически освоить данную технологию и уметь самостоятельно решать задачу привязки создаваемой СГС к геоцентрической СК.

Задачи работы:

- 1)создание проекта в ПО LGO, импорт данных в проект;
- 2)проверка и редактирование введенных в проект данных;
- 3)вычисление координат начального пункта от исходных пунктов МГС;
- 4)вычисление базовых ГНСС-векторов между исходными пунктами МГС;
- 5)контроль и оценка точности вычислений;
- 6)уравнивание сети по привязке НП к исходным пунктам МГС; 7) составление пояснительной записки.

Краткие теоретические сведения

В относительном методе спутникового позиционирования, применяемом при создании и развитии государственных геодезических сетей с использованием глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС), наблюдения производятся синхронно (одновременно) не менее чем двумя ГНСС-приемниками, один из которых располагается на опорном пункте с известными координатами, а второй совмещен с определяемым объектом. Таким образом, при вычислении каждой базовой линии должно быть определено, какой из двух образующих ее пунктов является исходным, а при создании и вычислении геодезической сети, состоящей из определенным образом упорядоченного набора базовых линий, необходимо решить, какой пункт в ней выбрать в качестве исходного (опорного), от которого координаты в геоцентрической СК по базовым ГНСС-векторам будут переданы на все остальные пункты сети, и определить способ получения его абсолютных координат в мировой геоцентрической системе координат (ITRF, WGS-84). Такой пункт в сети называется начальным (так как его координаты будут задавать геоцентрическую СК WGS-84/ITRF для всей сети). Заданием начального пункта сети в СК WGS-84 определяется его абсолютное положение на земном шаре. Точность задания (определения) координат начального (инициализационного) пункта сети влияет на точность вычисления всех базовых векторов и, в конечном итоге, на точность построения геодезической сети.

Здесь и далее в настоящем пособии мировые геоцентрические системы координат *World Geodetic System* (мировая геодезическая система) – 84 (WGS-84) и *International Terrestrial Reference Frame* (международная земная отсчетная основа) ITRF в связи с их взаимным совпадением с субдециметровой точностью (а WGS-84 и ITRF-2000 совпадают с точностью до 1 см) рассматриваются как системы координат-аналоги, хотя, безусловно, следует понимать, что наиболее точной реализацией мировой геоцентрической системы координат в настоящее время является ITRF.

Ошибка M в координатах начального пункта сети в СК WGS-84 вызовет ошибку M_D в вычислении базовой линии длиной D , определяемую формулой [2]:

$$M_D/D = k \cdot M/R, \quad (2.1)$$

где R – радиус Земли. Коэффициент k у разных авторов принимает значения от 0,3 до 1.

Точность передачи координат современными двухчастотными фазовыми геодезическими приемниками составляет:

- в плане $\pm 5 \text{ мм} + 1 \text{ мм}$ на каждый километр длины вектора базовой линии, что при длине линии в 30 км составит $\pm 3,5 \text{ см}$;

- по высоте $\pm 10 \text{ мм} + 1 \text{ мм}$ на каждый километр длины вектора базовой линии, что при длине линии в 30 км составит $\pm 4,0 \text{ см}$.

Ошибка задания координат начального пункта сети в геоцентрической СК не должна приводить к погрешностям вычисления длин базовых векторов, сопоставимых с приборной точностью ГНСС-приемников, а, наоборот, должна быть существенно ниже уровня точности приборов, чтобы не вносить в результаты обработки ГНСС-измерений систематических погрешностей.

В общем случае для получения координат начального пункта (НП) в геоцентрической СК (ITRF, WGS-84) имеется 3 возможности:

- 1)использовать навигационные координаты НП, вычисленные в абсолютном режиме по кодовым ГНСС-измерениям на этом пункте;

- 2)включить в создаваемую геодезическую сеть (и выполнить на нем ГНСС-измерения) хотя бы 1 пункт государственной геодезической сети (ГГС), координаты которого из государственной системы координат (СК-95, СК-42) перевычислить в WGS-84 (ITRF) по существующим параметрам связи между ними, например, установленными в ГОСТ 32453-2013 [7];

- 3)осуществить привязку НП к исходным пунктам с известными точными координатами в системе WGS-84 или ITRF посредством выполнения длительных (не менее 24 часов) ГНСС-измерений и последующего вычисления соответствующих базовых векторов от них до НП сети.

Анализ точности вышеуказанных 3-х методов привязки ИП к геоцентрической СК приведен в табл. 2.1.

Как видно из табл. 2.1, использование навигационных координат начального пункта при создании и развитии методами спутниковой геодезии государственной геодезической сети недопустимо. Вследствие ошибок навигационных координат, величины которых могут достигать 23 м, погрешности вычисления длин базовых линий могут составлять величины до 18 см (при длине линии 50 км), что более чем в 4 раза превышает инструментальную точность ГНСС-приемников.

Таблица 2.1

Погрешность определения длины базовой линии, вызванная ошибкой определения координат начального пункта в СК WGS-84/ITRF

Метод определения координат НП ГНСС-сети	Погрешность координат начального пункта в СК WGS-84/ITRF	Погрешность вычисления длины базовой линии (БЛ)	
		в относительной мере	в абсолютной величине (см) для БЛ длиной 30/50 км
Навигационные координаты	до 15 м – в плане и до 23 м – по высоте	$3,6 \cdot 10^{-6}$	11/18
Перевод координат из ГСК СК-42/СК-95 в СК WGS-84/ITRF по параметрам связи [7]	до 10 м	$1,6 \cdot 10^{-6}$	5/8
Привязка к пунктам МГС, ФАГС, ВГС, СГС-1	не более 0,2 м	$3,1 \cdot 10^{-8}$	0,1/0,2

Использование для этих же целей координат пунктов ГГС, включаемых в сеть при создании и развитии ГГС также нежелательно, так как параметры связи между СК WGS-84 и государственной системой координат СК-95 определены в целом для территории Российской Федерации и в отдельных ее частях могут давать погрешности преобразования до 10 м, что повлечет за собой ошибки в вычислении базовой линии до 5 см (при длине линии 30 км), которые превышают приборную точность ГНСС-приемников.

Наиболее правильным способом определения координат начального пункта при создании и развитии ГГС является его привязка посредством ГНСС-измерений к пунктам мировой или российской спутниковой геодезической сети, координаты которых определены в СК WGS-84/ITRF с высокой точностью.

В настоящее время в мире существует высокоточная спутниковая геодезическая сеть, созданием и развитием которой занимается международная ГНСС-служба (*International GNSS Service – IGS*), МГС, состоящая из более чем 350 расположенных по территории всего земного шара станций, на которых установлены и постоянно работают высокоточные двухчастотные геодезические приемники. Схема сети приведена на рис. 2.1.

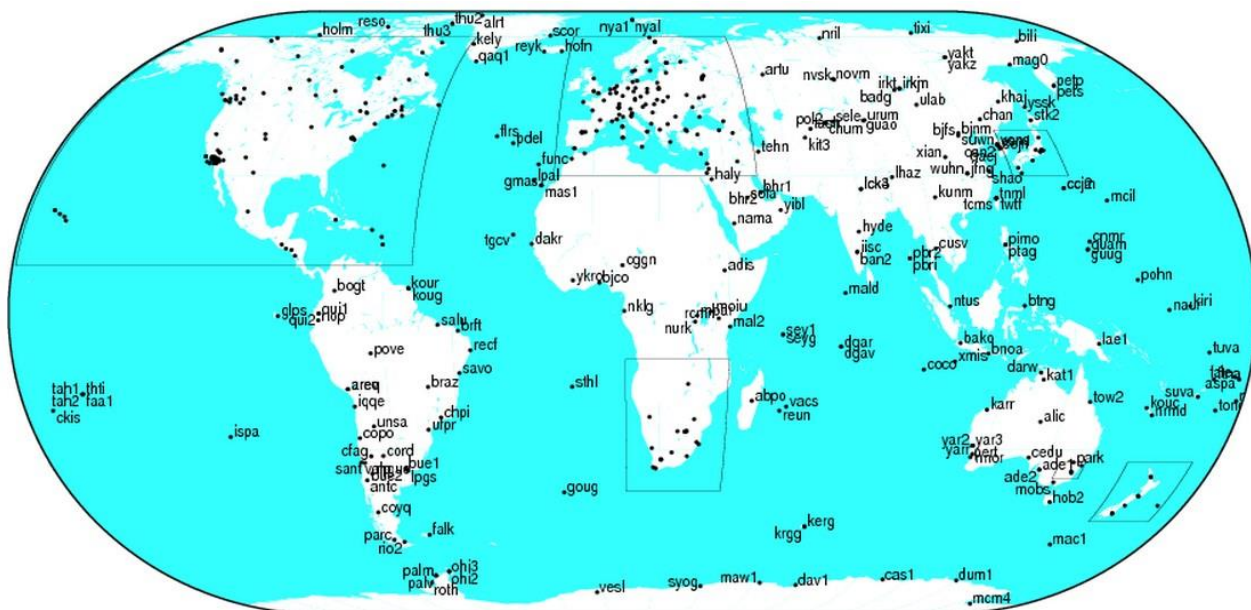


Рис. 2.1. Схема высокоточной спутниковой геодезической сети МГС

Данная сеть и обслуживающие ее свыше 200 научных организаций со всего мира предоставляют пользователям различные ГНСС-сервисы, в том числе: высокоточные (с точностью несколько миллиметров) абсолютные координаты станций в геоцентрической системе координат ITRF на заданную эпоху (дату) наблюдений и годовые скорости их изменения; сырые данные наблюдений в формате *RINEX* (*Receiver Independent Exchange Format*, формат обмена сырых ГНСС-данных, независимый от типа приемника ГНСС-сигналов); точные эфемериды спутников и т. д. Все указанные данные открыты и доступны широкому кругу пользователей бесплатно в сети интернет круглосуточно и круглогодично, что делает очень удобным пользование сервисами Международной ГНСС-службы. Именно поэтому для определения координат начального пункта создаваемой спутниковыми методами ГГС в большинстве случаев пользуются данными МГС, по этой же причине в данной лабораторной работе привязка начального пункта сети осуществляется к пунктам этой международной службы. На территории Российской Федерации последнее десятилетие активно развивается современная высокоточная государственная спутниковая геодезическая сеть, включающая в себя взаимоувязанные между собой геодезические построения трех уровней: Фундаментальную астрономогеодезическую сеть (ФАГС), Высокоточную геодезическую сеть (ВГС) и спутни-

ковую геодезическую сеть 1-го класса (СГС-1) [10]. Схема расположения пунктов государственной спутниковой геодезической сети на территории РФ по состоянию на 01.01.2013 г. приведена на рис. 2.2 [6].

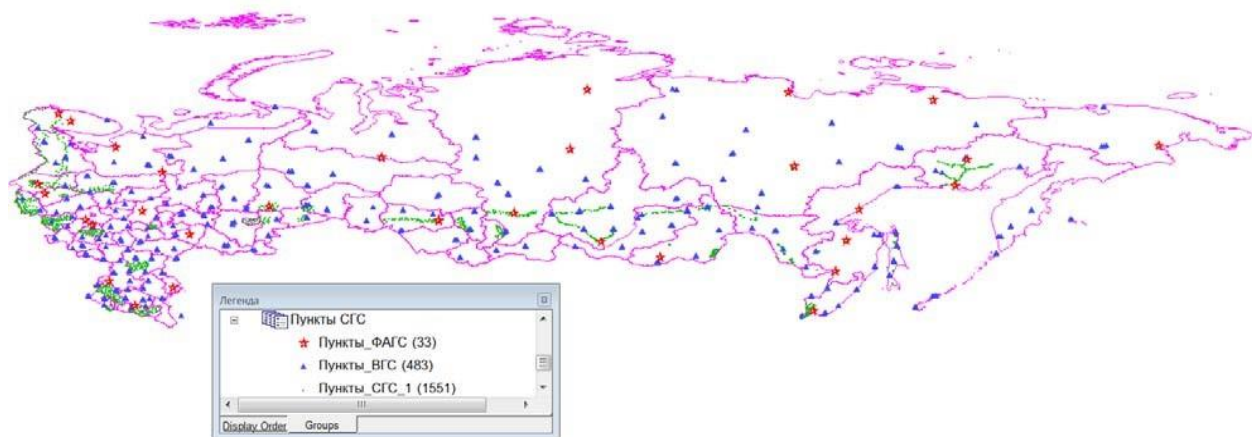


Рис. 2.2. Схема государственной спутниковой геодезической сети (СГС) России

Абсолютная точность координат пунктов СГС РФ составляет 10–15 см в геоцентрической системе координат ITRF, взаимная точность для пунктов всех классов сети не превышает 2-3 см. По точностным характеристикам СГС соответствует необходимым критериям для использования ее пунктов в качестве исходных для привязки вновь развиваемых геодезических построений. Однако, в настоящее время для спутниковой геодезической сети РФ в недостаточной мере развиты необходимые открытые общедоступные сервисы: сервис скачивания сырых данных и точных эфемерид, сервис предоставления каталога координат пунктов СГС и скоростей их изменения. Более того, до настоящего времени данные по большинству пунктов ФАГС (их точные координаты в геоцентрической СК и т. д.) и других пунктов СГС являются в нашей стране закрытой информацией.

В этой связи для целей привязки создаваемых точных геодезических сетей к мировой геоцентрической системе координат наиболее рациональным в настоящее время является использование сервисов МГС и по этой же причине при выполнении лабораторной работы № 1 используются именно ее пункты. Однако в будущей практической работе на производстве специалистам – выпускникам СГУГиТ – следует иметь ввиду все расширяющие-

ся возможности СГС России и по мере доступности данных и сервисов этой сети рекомендуется использовать их.

Время ГНСС-наблюдений, необходимое для привязки начального пункта развиваемой ГГС сети к пунктам МГС, должно составлять длительный промежуток времени (несколько суток) в связи с тем, что расстояние от развиваемой на территории РФ ГГС до пунктов МГС может составлять несколько тысяч километров. В связи с этим решение о том, какой пункт будет являться начальным в создаваемой геодезической сети, должно быть принято еще на стадии проектирования сети и выполнения ГНСС-измерений в ней с тем, чтобы на пункте, выбранном в качестве начального, провести требуемой длительности сеанс ГНСС-измерений.

Исходные данные, используемое программное обеспечение и оборудование:

- координаты 4 исходных пунктов МГС в СК ITRF-2008 на дату ГНСС-измерений*;

- файлы ГНСС-измерений на 4 исходных пунктах МГС в формате RINEX и файлы точных эфемерид на даты наблюдений (1 неделя)**;

- данные калибровок использованных в работе антенн ГНСС-приемников***;

- файл измерений на начальном пункте спутниковой геодезической сети****;

- программное обеспечение Leica Geo Office, версия 5.0;

- компьютер с операционной системой Windows и со стандартным пакетом офисных программ, подключенный к сети Интернет.

Примечания:

* – координаты исходных пунктов МГС в СК ITRF-2008 на соответствующем сайте в сети Интернет студентом могут быть скачаны самостоятельно. При появлении более новых версий СК ITRF (СК ITRF-2013 и т. д.) необходимо использовать их;

** – файлы ГНСС-измерений на пунктах МГС и файлы точных эфемерид на даты наблюдений на соответствующем сайте в сети Интернет могут быть скачаны студентом самостоятельно с использованием соответствующей опции ПО LGO (рекомендуется) или без ее использования;

*** – данные калибровок антенн ГНСС-приемников для их введения в проект с соответствующего сайта в сети Интернет могут быть скачаны студентом самостоятельно;

**** – в качестве развиваемой геодезической сети в лабораторных работах № 1-3 используются фрагменты (по 7 пунктов) сети из 31 постоянно действующих автоматических базовых станций, созданной на территории Новосибирской области (АБС НСО). Для каждого варианта лабораторной работы № 1 в качестве начального пункта задан один из пунктов сети, которая будет обрабатываться в лабораторной работе № 2.

Порядок выполнения работы

Порядок выполнения лабораторной работы изложен (и пронумерован) в соответствии с вышеуказанным перечнем задач, подлежащим решению при ее выполнении.

1. *Создание проекта в ПО LGO, импорт данных в проект.*

1) *запуск ПО LGO и создание нового проекта* выполните в соответствии с указаниями, приведенными в подразд. 1.2 и 1.3.1 данного пособия.

В закладке General в строке Project Name (см. рис. 1.4) задайте имя проекта по шаблону: *МГ11_ЛР-1_Вариант_5*, где номер группы и вариант лабораторной работы указать свой.

В строке Location этой же закладки укажите место хранения файла проекта. Для единообразия и системности в работе при выполнении лабораторных работ рекомендуется все создаваемые LGO-проекты, а также всю дополнительную информацию хранить в корневой директории компьютера, где создана общая папка для лабораторных работ – *MCuP_ГГС*, а в ней – папка *LGO_Projects*. Для сохранения проекта в данной директории следует, используя «кнопку с точками», расположенную справа в строке Location, проследовать до конечной директории (*LGO_Projects*), в результате чего путь к директории для хранения вновь создаваемого проекта в строке Location будет следующим: *C:\MCuP_ГГС\LGO_Projects*. Остальные настройки на данной закладке оставьте принятыми по умолчанию (такими, как это показано на рис. 1.4).

Перейдите в закладку Coordinates (см. рис. 1.5). В строке Coordinate System закладки установите WGS-84, именно в этой СК будет выполняться обработка ГНСС-измерений. Оставшиеся строки данного окна следует оставить так, как показано на рис. 1.5, в неактивном состоянии.

После выбора вышеуказанных установок для создания проекта нажмите ОК, после чего в правом окне рабочего поля ПО LGO появится новая строка с названием вновь созданного Вами проекта: откройте новый проект, дважды щелкнув мышкой по строке с его названием; 2) *импорт данных с пунктов* МГС.

Для всех вариантов лабораторной работы № 1 используются в качестве исходных следующие 4 пункта международной ГНСС-службы, указанные в табл. 2.2.

Таблица 2.2 Сведения об исходных пунктах МГС

№ п/п	4-буквенная аббревиатура пункта МГС	Описание пункта в его ЛОГ-файле	IERS DOMES-код	Даты наблюдений	
				группа 1	группа 2
1	ARTU	Arti, Ekaterinburg region, Russian Federation	12362M001	неделя 1	неделя 2
2	IRKT	IRKUTSK, Irkutsk, Siberia, Russia	12313M001	неделя 1	неделя 2
3	POL2	Poligan IVTAN 2, Bishkek, Kyrgyzstan	12348M001	неделя 1	неделя 2
4	NVSK	Novosibirsk, Russia	12319M001	неделя 1	неделя 2

В качестве групп № 1 и 2 при выполнении лабораторных работ рассматриваются группы магистрантов 1-го курса (МГ-11 и МГ-12). Группам с бóльшим номером (МГ-13 и выше) номер группы для выбора дат ГНС-Наблюдений устанавливается преподавателем при выдаче работ.

Время наблюдений, на период которых требуется скачать данные со станций МГС (в течение которого на начальном пункте развиваемой геодезической сети выполнены ГНСС-измерения), составляет одну неделю (7 дней), при этом интервалы измерений для групп 1 и 2 являются смежными недельными периодами наблюдений на пунктах. Конкретные даты наблюдений, которые используются при выполнении лабораторной работы № 1 в данном году, указываются преподавателем при выдаче задания.

Скачивание «сырых» данных о ГНСС-измерениях на пунктах МГС в обменном RINEX-формате может быть осуществлено вне среды ПО LGO с одного из сайтов международной ГНСС-службы, например <ftp://igs.ensg.ign.fr/pub/igs/data/>, где последовательно выбирается год наблюдений, юлианский день наблюдений (порядковый номер дня в году в интервале от 1 до 365), название пункта по 4-буквенной аббревиатуре и скачиваются соответствующие файлы архивов, содержащие сырые данные наблюдений и точные эфемериды на данную дату наблюдений.

Однако, в ПО LGO есть специальный инструмент, позволяющий автоматизировать этот процесс. В данной лабораторной работе рекомендуется попробовать самостоятельно скачать некоторые данные на вышеуказанном или аналогичном сайте МГС без использования специального инструмента ПО LGO, однако все данные предлагается скачать с его применением.

Для этого в ПО LGO последовательно выбрать: *Tools* → *Internet Download*, и в закладке *General* открывшегося диалогового окна (рис. 2.3), в строке *Available Sites* выбрать из списка один из 4 вышеуказанных пунктов МГС (для безошибочного выбора пункта из списка, где сохранены все исторически ранее существовавшие, ныне не действующие модификации одних и тех же пунктов, следует из закладки *General* переключиться в закладку *Sites Logfile* (рис. 2.4), где в разделе Лог-файла «1. Site Identification of the GNSS Monument» (*Идентификация ГНСС-марки станции*) убедиться, что выбранный Вами пункт по 4-буквенной аббревиатуре и по IERS DOMES-коду полностью соответствует указанному в задании лабораторной работы № 1; в строке *Coordinate Format* выбрать тип координат (рекомендуются пространственные прямоугольные *X, Y, Z*, картезианские – *Cartesian*); в строке *Date for Download* выбрать из списка (на всплывающем календаре) дату наблюдений (в соответствии с номером Вашей студенческой группы); в строке *Download Contents* выбрать содержание данных, которые требуется скачать с данной станции МГС (рекомендуется выбрать *Observation file and precise ephemeris* – *файл наблюдений и точные эфемериды*); в строке *Download to* (*загрузить в*) указать путь к папке, где будут храниться данные наблюдений с данного пункта МГС (желательно в вашей персональной папке с указанием вашей группы и фамилии в общей директории *C:\MCuP_ГГС\СТУДЕНТЫ\ГР-1\МГ-11*), для каждо-

го пункта создать свою отдельную директорию с именем пункта); нажать *Download*, после чего в окне *Files to download (загруженные файлы)* завершение загрузки каждого из выбранных на предыдущем этапе типов данных на этом пункте будет отражаться виде «галочки» в окошке напротив данного типа данных.

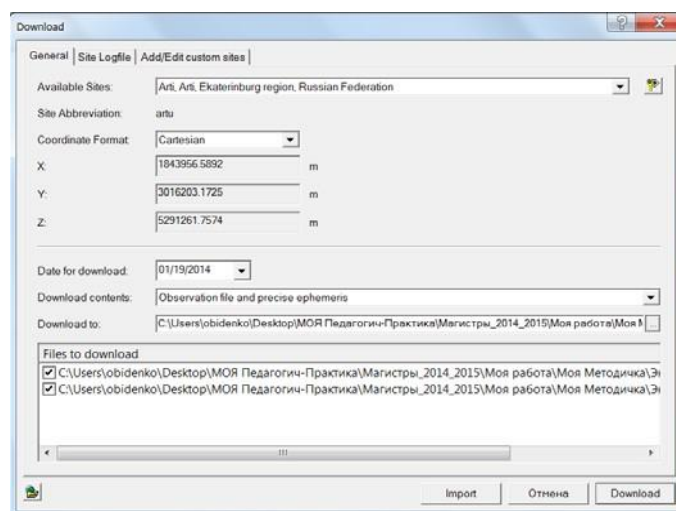


Рис. 2.3. Окно интернет-загрузки сырых ГНСС-данных со станций МГС

После завершения загрузки всех типов данных на данном пункте следует импортировать данные в ваш проект, если обработка ГНССизмерений предполагается сразу же после загрузки данных (рекомендуется) или перейти к загрузке и сохранению на компьютере (но не в проекте) данных за другую дату или на другой пункт МГС, если обработка будет выполняться позже в проекте, который, возможно, еще не создан. Импорт данных в проект сразу же после скачивания их из Интернета (когда они еще находятся в буферной памяти компьютера) выполняется по упрощенной схеме, для чего следует нажать кнопку *Import*. По завершении импорта появится окно *Assign data to project (присвоить данные проекту...)*, (рис. 2.5), в первой закладке которого *General* появится окно списка проектов. Выберите из этого списка проектов ваш проект, в который вы хотите ввести данные, и нажмите *Assign (присвоить)*. Процесс копирования данных в проект будет отображаться в виде прогрессивной шкалы, исчезающей по завершении, после чего нажмите кнопку *Close*.

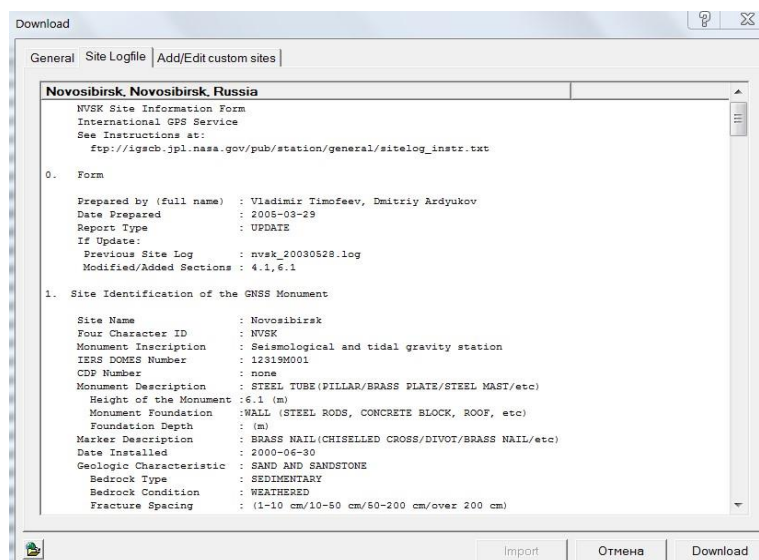


Рис. 2.4. Закладка лог-файла станций МГС окна интернет-загрузки данных

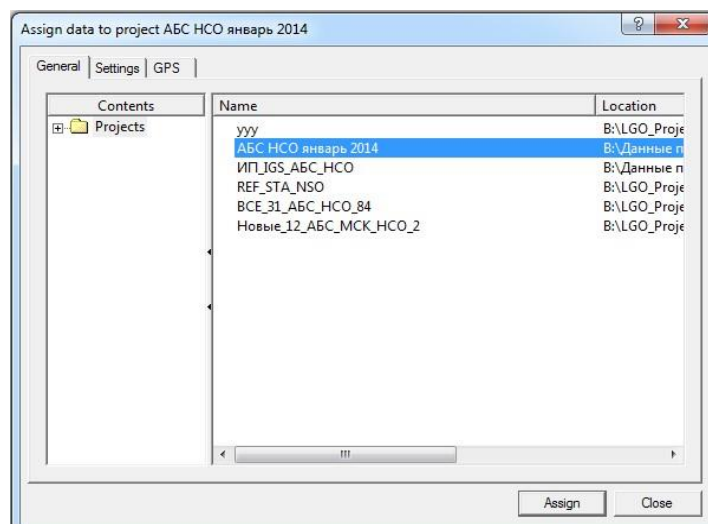


Рис. 2.5. Окно присвоения импортируемых сырых ГНСС-данных проекту В успешном копировании данных о пункте в проект можно убедиться, открыв закладки:

-*View/Edit*, где он появился на схеме сети в виде зеленого квадрата размером около 2 мм с точкой внутри (условный знак навигационного статуса координат пункта) и подписью названия рядом;

-*GPS Proc*, где он появился в виде строки с названием пункта и соответствующей ему графической серой полоской, длина которой пропорциональна длительности ГНСС-наблюдений на пункте, а положение на графике (в позиции слева направо) соответствует датам начала и завершения ГНСС-наблюдений на этом пункте;

-*Point*, где он появился в виде новой строки в таблице, содержащей название пункта, класс пункта (*Point Class*), являющийся на данном этапе навигационным, а также множество других колонок, содержащих информацию об импортированном в проект пункте.

После импорта данных за 1 день наблюдения на пункте следует подобным же образом импортировать данные за все остальные 6 дней наблюдений. Импорт данных по остальным 3 пунктам МГС осуществляется аналогичным образом.

В случае, если при скачивании сырых данных с пунктов МГС посредством Интернета они были сохранены в вашей папке на компьютере в общей директории (*C:\MCuP_ГГС\СТУДЕНТЫ*), но не были немедленно (из буферной памяти компьютера) импортированы вами в ваш проект, или ваш проект с данными по каким-то причинам поврежден и требуется создание нового проекта, данные в проект могут быть импортированы независимым образом по стандартной схеме из вашей директории.

Кроме того, с целью предотвращения срыва выполнения лабораторной работы по причине неполадок с Интернетом, а также для контроля правильности данных, скачанных студентами самостоятельно, все данные с 4 станций МГС сохранены преподавателем на компьютере в общей директории (*C:\MCuP_ГГС\ПРЕПОДАВАТЕЛЬ*) и могут быть также использованы для импортирования в проект.

Импортирование данных в проект из директории компьютера (а не из его буферной памяти) является стандартной (неупрощенной) схемой импорта. Для этого следует последовательно выбрать *Import* → *Raw Data*, появится окно *Import Raw Data (импорт сырых данных)*, рис. 2.6. В нижней строке *Files of type (типы файлов)* следует выбрать из списка *Rinex files*. Опция *Include subfolders* включается, чтобы импортировать данные, находящиеся как в указанной, так и во вложенных папках. Указать путь к директории, куда вы сохранили файлы сырых ГНСС-измерений в процессе их импорта из Интернета, или, если Вы решили воспользоваться данными, сохраненными преподавателем для Вас, из директории (*C:\MCuP_ГГС\ПРЕПОДАВАТЕЛЬ*) и запустить процедуру импорта, нажав кнопку *Import*. По завершении импорта появится окно *Assign data to project (присвоить данные проекту...)*, см. рис. 2.5, в первой закладке которого *General* появится окно списка проектов. Выберите из этого списка

проектов ваш проект, в который вы хотите импортировать данные, и нажмите *Assign (присвоить)*. Процесс копирования данных в проект будет отображаться в виде прогрессивной шкалы, исчезающей по завершении процедуры, после чего нажмите кнопку *Close*. В успешном импортировании пункта в проект можно убедиться (как это описано выше), просмотрев данные по нему в закладках *View/Edit*, *GPS Proc*, *GPS Proc*.

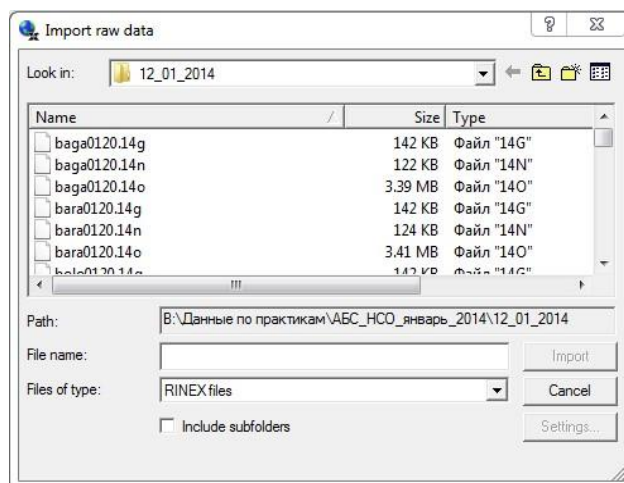


Рис. 2.6. Окно импорта сырых ГНСС-данных из директории компьютера

Завершив процесс импорта ГНСС-измерений с одного пункта за текущую дату, повторите ее требуемое число раз для другой даты данного пункта или для других пунктов. Для выхода из процесса импортирования данных нажмите клавишу *Cancel* в окне импорта;

3) *скачивание сырых данных наблюдений на АБС НСО* может быть осуществлено с сайта <http://rtk.nso.ru/spiderweb/frmIndex.aspx>, для чего там нужно предварительно зарегистрироваться. Для целей лабораторной работы № 1 эти данные в формате RINEX за соответствующие даты наблюдений для начального пункта сети данного варианта задания предоставляются уже скачанными в директории (C:\МСuР_ГГС\ПРЕПОДАВАТЕЛЬ\ЛР-1\Исходные данные ЛР-1), варианты заданий указаны в прил. 1.

По завершении процессов скачивания сырых данных со станций МГС и АБС НСО следует заполнить табл. 2.3.

Таблица 2.3

Сведения об импортированных в проект ГНСС-измерениях

№ п/п	Идентификатор пункта	Типы использо- ванной антенны	Даты измерений	Общая продолжитель- ность измерений (сут- ки)
1	2	3	4	5

Примечание: данные, скачанные студентом с соответствующего сайта в сети Интернет самостоятельно (используя предоставленные преподавателем данные лишь для контроля своей работы), помечаются в колонках 4 или 5 знаком «*».

4) *координаты исходных пунктов* высокоточной сети МГС в СК ITRF-2008 или более поздней ее версии (ITRF-2013 и т. д.) на дату наблюдений для выполнения лабораторной работы № 1 требуется скачать с одного из сайтов этой службы, для выполнения лабораторной работы № 1 рекомендуется сайт <http://itrf.ensg.ign.fr/>, вид главной страницы которого приведен на рис. 2.7 [15]. На данной странице в разделе *Site Information and selection* (*информация и выбор станций*) с использованием одного из возможных вариантов (поиск на карте, по 4-буквенной аббревиатуре, по уникальному DOMES-коду) осуществляется поиск необходимых пунктов.

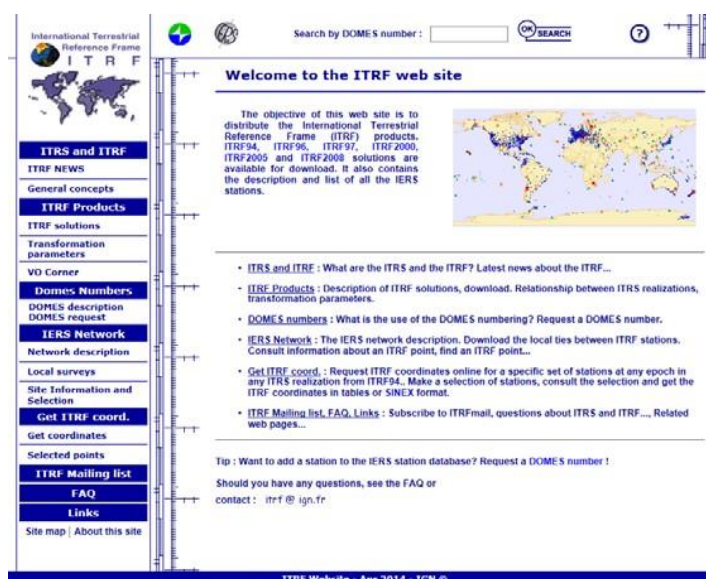


Рис. 2.7. Главная страница сайта международной ГНСС-службы (МГС)

Для выбора по 4-буквенной аббревиатуре последовательно нажать *Site Information and selection* → *Select points with their 4-character code* (выбор точек по их 4-буквенному коду) → в появившемся окошке ввести 4-буквенную аббревиатуру точки → нажать *Select* → в появившейся таблице

(рис. 2.8) справа от названия точки поставить «галочку» и, нажав строку ниже точки *ADD SELECTED POINT TO CART*, добавить выбранную точку в карту для получения ее координат. После этого выше таблицы с информацией о точке появится зеленая надпись типа: *12362M001 has been added to cart!* (точка 12362M001 добавлена в карту), где девятизначный буквенно-цифровой DOMES-код для каждой точки будет свой. Нужно так последовательно поступать, пока все требуемые точки не будут добавлены в карту. После этого нажать *Get coordinates* (получить координаты), и в появившемся окне (рис. 2.9) выбрать решение ITRF (ITRF-2008 или, при наличии более поздней ее версии, – ITRF-2013 и т. д.). Далее необходимо указать по предложенному формату эпоху, на которую в лабораторной работе № 1 для всех групп выполняется обработка создаваемой сети: первый день первого недельного интервала наблюдений, например для интервалов измерений 06–12.01.2014 г. и 13–19.01.2014 г. – это 2014/01/06 (6 января 2014 г.), оставить формат выдачи данных по умолчанию в виде таблицы, нажать *Submit*.

Select points by code

Enter a point acronym (cdp, doris or igs code) :

ARTU

12362M001 has been added to cart !

Domes	Description	code	country	
12362M001	Arti Geophysical Observatory/ Roof/ Top of 5/8-11" diameter vertical rod	ARTU	RUSSIA	☒

Рис. 2.8. Окно выбора точек на сайте МГС

ITRF station positions & velocities

This page extracts positions and velocities of the selected points from an ITRF solution at any epoch. Follow the guidelines. If you request a SINEX file, you will be informed by email when the SINEX is ready to be downloaded on the LAREG ftp server.

Choose an ITRF

Choose the epoch format : yyyy/mm/dd

Choose the file format

Your e-mail (only if you order a SINEX file)

Рис. 2.9. Окно задания эпохи ITRF на сайте международной

ГНСС-службы

После этого появится таблица, содержащая координаты выбранных пунктов (картезианские XYZ) в ITRF-2008 (или позднее) на заданную вами эпоху наблюдений, годовые скорости изменения координат и СКО получения этих величин. Таблицу следует сохранить удобным для Вас способом, например, выделив все ее строки и вставив в таблицу Excel. Для некоторых пунктов в этой таблице даны результаты нескольких решений, (номер решения указан в колонке *SOLN (Solution)*), разница между которыми находится в пределах сантиметра. Хотя для решаемой задачи эта разница не принципиальна, в работу следует брать координаты из последнего (старшего по номеру) решения. Во избежание путаницы в работе младшие решения из таблицы рекомендуется удалить.

С целью контроля правильности координат пунктов МГС, скачанных студентами самостоятельно, каталог координат 4 используемых в лабораторной работе № 1 станций МГС сохранен Excel-файл **Координаты IGS_2014_LP_1-2** преподавателем на компьютере в директории (*C:\МСuP_ГГС\ПРЕПОДАВАТЕЛЬ\LP_1\Исходные данные LP_1*) и может быть использован студентами для проверки корректности полученных самостоятельно координат.

Скачанные координаты исходных пунктов МГС на дату измерений в системе координат ITRF-2008 внести в прилагаемую табл. 2.4.

Таблица 2.4 Сведения о координатах исходных пунктов сети МГС

№ п/п	Идентификатор пункта	Координаты пунктов МГС в СК ITRF-2008 на дату изме- рений (м)			Годовое изменение коор- динат (м)		
		X	Y	Z	dX	dY	dZ

2. Проверка и редактирование введенных в проект данных.

1) *введение данных калибровок антенн ГНСС-приемников* необходимо в связи с тем, что в ПО LGO существует (прописан) перечень авторизованных антенн производства Leica Geosystems, которые производились этой фирмой на момент выпуска данной версии ПО LGO. Типы антенн произ-

водства Leica Geosystems, изготовленные после выхода данной версии ПО, не прошиты в ПО, поэтому при импорте ГНСС-измерений, выполненных антеннами, не описанными в ПО, а также антеннами других (не Leica Geosystems) производителей, ПО LGO выдает сообщение о том, что новый тип антенны создан в ПО, однако для корректной работы с данным типом антенны требуется ввести ее свойства (см. рис. 1.12).

Если не ввести эти данные, то обработка будет осуществляться с нулевыми корректирующими параметрами антенны, что приведет к ошибкам на величины порядка нескольких миллиметров в плане и до 10 сантиметров по высоте!

Посмотреть перечень антенн, авторизованных в программе, а также антенн других производителей можно в главном меню программы: *Managment* → *Antennas*. В данном окне все авторизованные в ПО LGO антенны помечены коричневым кружочком с крестиком (они не требуют ввода корректирующей информации), неавторизованные не имеют такого значка и по ним должна быть введена корректирующая информация.

Корректирующая информация по каждому типу антенны может быть получена на сайте Геодезической службы США (National Geodetic Survey (NGS), <http://www.ngs.noaa.gov/ANTCAL>), где последовательно выбирается фирма-производитель антенны, а тип антенны и ее параметры выбираются в соответствующих колонках и строках (пример показан на рис. 2.10).

Leica

Antenna Model	Radome	Images	Calibrations	Description
LEIAR10	NONE	Drawing Side Top	ANTEX ANTINFO	Multi-purpose geodetic reference station antennawith large groundplane and integrated radome.GPS: L1,L2,L5 GLONASS: L1,L2,L3 Galileo: E2-L1-E1,E5a,E5b,E6,AltBOC Compass: B1,B2,B3 L-BAND
LEIAR20	NONE	Drawing Label Side Top	ANTEX ANTINFO	Multi purpose GNSS choke ring antenna GPS: L1,L2,L5; GLO: L1,L2,L3; CMP: B1,B2,B3; GAL: E2-L1-E1,E5a,E5b,E6,AltBOC; L-BAND
LEIAR20	LEIM	Drawing Label Side Top	ANTEX ANTINFO	Multi purpose GNSS choke ring antenna GPS: L1,L2,L5; GLO: L1,L2,L3; CMP: B1,B2,B3; GAL: E2-L1-E1,E5a,E5b,E6,AltBOC; L-BAND
LEIAR25	SCIS	Drawing Side Top	ANTEX ANTINFO	Dorne Margolin with 3D choke ring (Revision 2)GPS: L1,L2,L5 GLONASS: L1,L2,L3 Galileo: E2-L1-E1,E5a,E5b,E6,AltBOC Compass: B1,B2,B3 L-BAND[Note: Revision 1 was never released to public.]

Рис. 2.10. Сайт данных о калибровках ГНСС-антенн

Для данного типа антенны, указанного в колонке *Antenna Model*, скачать сведения из колонки *Calibration*, нажав в ней на строку *ANTINF* (инфор-

мация по антенне). Появившаяся после этого таблица (пример которой показан на рис. 2.11) будет содержать краткую информацию о калибровке антенны. Цифры в строках, состоящих из 3 колонок, являются искомыми параметрами для данного типа антенны, характеризующими величины (в миллиметрах):

а) первая строка таблицы сверху (исключая ее заголовок), слева направо – *North, East, Vertical* для частоты L1, т. е. эксцентриситет фазового центра антенны относительно ее вертикальной оси вращения в направлении на север-юг и восток-запад (первые 2 цифры) и высота фазового центра антенны относительно ее точки отсчета (третья цифра) на частоте L1;
б) четвертая строка таблицы сверху (исключая ее заголовок), слева направо – *North, East, Vertical* для частоты L2, т. е. эксцентриситет фазового центра антенны относительно ее вертикальной оси вращения в направлении на север-юг и восток-запад (первые 2 цифры) и высота фазового центра антенны относительно ее точки отсчета (третья цифра) на частоте L2.

AOAD/M_T NONE Dorne Margolin with chokerings (TurboRog IGS (2) 11/03/25									
0.6	-0.4	91.8							
0.0 -0.2	-0.9 -1.9	-3.2 -4.6	-6.0 -7.1	-7.9 -8.2					
-8.1 -7.4	-6.2 -4.6	-2.3 0.7	4.5 9.1	14.2					
-0.1 -0.6	120.3								
0.0 -0.1	-0.5 -1.1	-1.8 -2.6	-3.4 -4.2	-4.8 -5.2					
-5.3 -4.9	-4.0 -2.8	-1.3 0.5	2.8 5.7	9.4					

Рис. 2.11. Таблица корректирующей информации по ГНСС-антенне

Данную таблицу следует скопировать и сохранить в своей рабочей директории для дальнейшей работы. Для лучшего понимания соотношений параметров антенны с ее внешним видом и ее точек отсчета рекомендуется также скачать схему антенны (колонок *Images* строка *Drawing*) и фото ее внешнего вида (колонок *Images* строки *Side* и *Top*).

Величины эксцентриситетов фазовых центров антенн должны быть введены в ПО LGO до начала обработки ГНСС-измерений. Для просмотра списка антенн, использованных в ГНСС-данных, импортированных в проект, следует перейти в закладку *Antennas* открытого проекта. Антенны, связанные с импортированными в проект сырыми ГНСС-данными, помечены желтым треугольником с восклицательным знаком внутри и не могут быть удалены из проекта.

Ввод и редактирование корректирующей информации по антеннам осуществляется в окне *Antenna Properties*, которое вызывается при активной закладке *Antennas* открытого проекта нажатием правой кнопкой мыши на нужную антенну, и в появившемся КМ – нажатием *Properties* (рис. 2.12). Данные по антенне вводятся в закладке *General*, в нижней половине окна свойств антенны, в блоке *Phase center offsets* (экцентриситет фазовых центров) для каждой из частот L1 и L2 (см. рис 2.12).

General	
Name:	AOAD/M_T NONE
IGS name:	
Serial number:	178
Setup id:	0
Horizontal offset:	0.0 m
Vertical offset:	0.0 m
☐ L1 only	
Phase center offsets	
L1	
Vertical:	0.0918 m
North:	0.0006 m
East:	-0.0004 m
L2	
Vertical:	0.1203 m
North:	-0.0001 m
East:	-0.0006 m
Corrections:	None

Рис. 2.12. Окно для ввода корректирующей информации по ГНСС-антенне

а) *Vertical* – несовпадение положения фазового центра антенны на частотах L1 и L2 по вертикали (по высоте) с ее геометрическим центром (точкой отсчета, обычно это основание антенны, по высоте совпадающей с началом резьбы антенны);

б) *North* – несовпадение положения фазового центра антенны на частотах L1 и L2 в горизонтальной плоскости (по направлению север – юг) с ее вертикальной осью, проходящей через центр резьбового отверстия антенны; в) *East* – несовпадение положения фазового центра антенны на частотах L1 и L2 в горизонтальной плоскости (по направлению восток – запад) с ее вертикальной осью, проходящей через центр резьбового отверстия антенны.

Обратите внимание, данные по антеннам в таблице корректирующей информации, скачанной с сайта (рис. 2.11) даны в миллиметрах. В ПО в окне свойств антенны (рис. 2.12) их требуется ввести в метрах. На рис. 2.12 показан пример ввода корректирующей информации по антенне в ПО, дан-

ные о которой получены в виде таблицы с сайта (см. рис. 2.11). Остальные данные информации антенны остаются принятыми по умолчанию и не изменяются, как это показано на рис. 2.12.

Критерием того, что корректирующая (калибровочная) информация для данного типа антенны не введена в проект, является нулевое значение высот фазовых центров на частотах L1 и L2. Если для некоторых антенн отсутствуют параметры положения фазовых центров (они указаны нулевыми), то до начала обработки их следует *обязательно ввести*.

Данные калибровок антенн ГНСС-приемников для их введения в проект с соответствующего сайта в сети Интернет студентом скачиваются самостоятельно. С целью контроля правильности получения калибровочных данных по антеннам пунктов МГС, скачанных студентами самостоятельно, эти сведения сохранены преподавателем на компьютере в директории (C:\МСuP_ГГС\ПРЕПОДАВАТЕЛЬ\ЛР_1\Документы ЛР-1) и могут быть использованы студентами для проверки корректности полученных самостоятельно данных.

Введенные в проект данные по калибровкам антенн вносятся в таблицу (см. табл. 2.5, графы 1-4);

2) *высота установки антенны* пунктов МГС прописана в RINEX-файле сырых исходных данных, всегда безошибочна и после импортирования в проект не требует исправления. Сырые ГНСС-данные, скачанные со станций АБС НСО, как и данные любых полевых ГНСС-измерений, могут содержать ошибки в части высоты установки антенны, которые требуется исправить.

Для проверки корректности данных по высоте установки антенны войти в закладку *GPS-Proc*, в таблице в левом окне этой закладки в колонке под названием *Height Reading (высотный отсчет)* все даты наблюдений должны иметь одинаковую высоту установки антенны (антенна жестко фиксирована в одном положении на стационарном пункте АБС НСО и ее высота не меняется). Однако, вследствие ошибок операторов, вводящих эти данные, RINEX-файл со станций АБС НСО часто содержат ошибки (обычно они в некоторые даты заданы нулевыми, что неверно). Для исправления ошибок введите в те дни наблюдений, где величина *Height Reading* равна нулю, правильную величину, указанную в другие дни, где

она ненулевая. Величины высот установки антенны на каждом пункте вносятся в таблицу (табл. 2.5, графа 5);

3) *правильность названий пунктов* проверяется путем просмотра наименований пунктов во всех закладках ПО: *View/Edit*, *GPS Proc*, *Points*. Во всех закладках все пункты должны иметь названия (пункты без названия имеют в качестве названия тире). Исправление этой ошибки осуществляется выяснением правильного названия пункта и переименованием пункта.

Редактирование названий точек выполняется в закладке *Points*, в диалоговом окне *Point Properties* (рис. 2.13), вызываемом двойным щелчком по строке с названием подлежащей редактированию точки (или по условному знаку точки на схеме сети в закладке *View/Edit*).

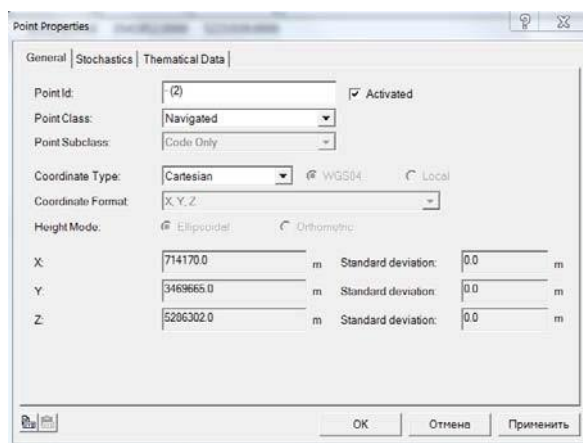


Рис. 2.13. Окно свойств точки

Переименование пункта выполняется в закладке *General* этого окна, в строке *Point ID*, после задания правильного названия следует нажать *OK*;

4) *проверка соответствий интервалов наблюдений* выполняется на схеме сети (закладка *View/Edit*), где не должно быть наложений пунктов. Происходит это в том случае, если фактически один и тот же пункт (навигационные координаты которого в разные дни наблюдений отличаются в пределах точности этих координат, т. е. несколько метров), имеет разные названия в разные дни наблюдений. Для исправления этой ситуации нужно интервал наблюдений от пункта, имеющего в один из дней наблюдений неверное название, передать (присвоить) пункту, имеющему правильное название. Для этого в закладке *View/Edit* увеличьте масштаб схемы так, чтобы совпадающие пункты географически перестали совпадать, вы-

делите пункт, от которого передаются координаты, нажатием правой кнопкой мыши вызовите КМ, в котором выберите опцию *Re-assign Interval*, после чего появится диалоговое окно *Re-assign Interval* (рис 2.14). В этом окне выделите все интервалы наблюдений на данной точке, внизу окна в строке *to* выберите из списка нужный пункт, которому передаются интервалы, нажмите *OK*. После этого пункт с ошибочным названием (на рис. 2.14 это точка без названия, имеющая 2 суточных интервала наблюдения) прекращает свое существование и исчезает из всех трех окон (*View/Edit*, *GPS Proc*, *Point*), а у корректно названной точки (на рис. 2.14 это пункт *Severnoe*) появится дополнительно 2 суточных интервала наблюдений, перешедших от исчезнувшей точки.

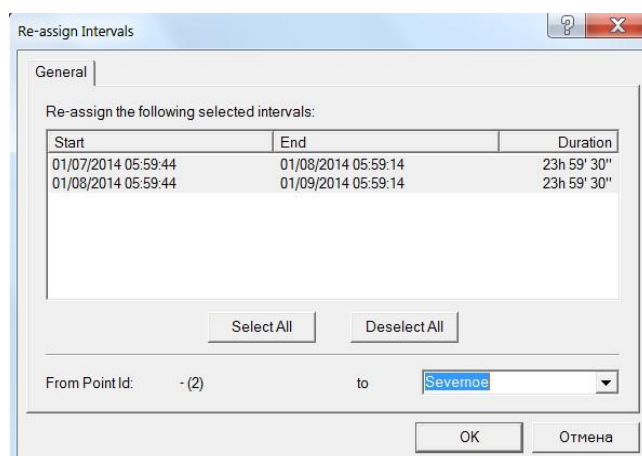


Рис. 2.14. Окно присвоения интервалов наблюдений

Факты сделанных студентом исправлений названий пунктов или присвоения интервалов ГНСС-наблюдений от одних пунктов другим отражаются в столбце 6 табл. 2.5.

Таблица 2.5

Проверка и редактирование данных проекта

Аббревиатура пункта	Тип антенны	Эксцентриситет фазового центра антенны <i>H</i> (Vertical) <i>X</i> (Noth) <i>Y</i> (East)		Высота установки антенны (Height Reading) (м)	Внесенные исправления (названий, высот, интервалов)
		<i>L1</i> (м)	<i>L2</i> (м)		
1	2	3	4	5	6

--	--	--	--	--	--

3. Вычисление координат начального пункта от исходных пунктов МГС.

1) ввод точных координат исходных пунктов МГС осуществляется для того, чтобы заменить навигационные координаты этих пунктов на их точные координаты в СК ITRF-2008 на дату наблюдений, полученные на сайте международной ГНСС-службы. Для этого двойным нажатием на нужный пункт МГС в закладке *View/Edit* вызвать диалоговое окно свойств точки, закладку *General* (рис. 2.15), где в строке *Point Class* статус пункта заменить на *Control* (контрольный, безошибочный); в строке *Point Subclass* выбрать из списка *Fixed in Position and Height* (фиксирован в плане и по высоте); в строке *Coordinate Type* установить тип координат *Cartesian*, а в соответствующие строки ввести исходные координаты пункта XYZ путем их копирования из таблицы Exell (куда они были сохранены с сайта МГС) и вставки в соответствующие ячейки данного диалогового окна, по завершении нажать ОК. После этого на схеме сети в закладке *View/Edit* условный знак пункта МГС изменится с полого квадрата с точкой на залитый треугольник зеленого цвета, означающий замену статуса координат пункта с навигационных на контрольные.

Point Properties			
General		Thematic Data	
PointId:	POL2	☒ Activated	
Point Class:	Control		
Point Subclass:	Fixed in Position and Height		
Coordinate Type:	Cartesian	☒ WGS84	☐ Local
Coordinate Format:	X Y Z		
Height Mode:	☒ Ellipsoidal	☐ Orthometric	
X:	1239971.118	m	Standard deviation: 0.0 m
Y:	4530790.123	m	Standard deviation: 0.0 m
Z:	4302570.841	m	Standard deviation: 0.0 m

Рис. 2.15. Задание точных координат пунктов МГС в окне свойств точки

Аналогично ввести координаты всех 4 исходных пунктов МГС;

2) установка параметров ГНСС-обработки является важным подготовительным этапом вычисления базовых ГНСС-векторов: корректно заданные параметры позволяют добиться положительных результатов обработки.

Первым этапом настроек является выбор ручного метода ГНССобработки, для чего нужно вызвать основное КМ обработки, щелкнув правой кнопкой

в правом окне закладки *GPS-Processing*, и в опции *Processing Mode* выбрать *Manual*.

Для установки параметров обработки перейти в закладку *GPS-Proc* ПО, где в панели инструментов, в блоке инструментов управления процессом вычислений базовых линий, показанных на рис. 2.16, нажать вторую справа кнопку в виде блокнота и ручки *Data processing parameters* (параметры обработки данных), вызывающую диалоговое окно *Configure Data GPS-processing Parameters* (настройка параметров обработки), рис. 2.17.



Рис. 2.16. Блок инструментов для вычисления базовых линий

В закладке *General*, в самом низу этого диалогового окна поставьте «галку» в окошке для включения опции *Show advanced parameters* (показ расширенных параметров), после чего к двум стандартным закладкам этого окна (*General* и *Auto. Processing*) добавятся еще 2 закладки: *Strategy* (стратегия) и *Extended Output* (расширенный вывод).

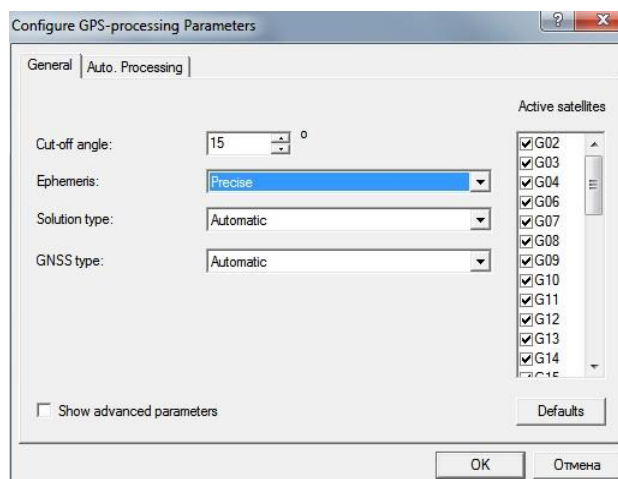


Рис. 2.17. Закладка *General* окна настройки параметров обработки

В закладке *General* этого окна сделайте установки так, как это показано на рис. 2.17: *Cut-off angle* (угол отсечки спутников) – 15 °, *Ephemeris* (использование эфемерид) выбрать из списка – *Precise* (точные) эфемериды. В строках *Solution Type* (тип решения) и *GNSS type* (тип ГНСС) установить *Automatic* (автоматически).

В закладке *Strategy* сделайте установки так, как это показано на рис. 2.18. При этом большинство установок этой закладки являются установками по

умолчанию, поэтому для их установки достаточно нажать *Default* в правом нижнем углу окна.

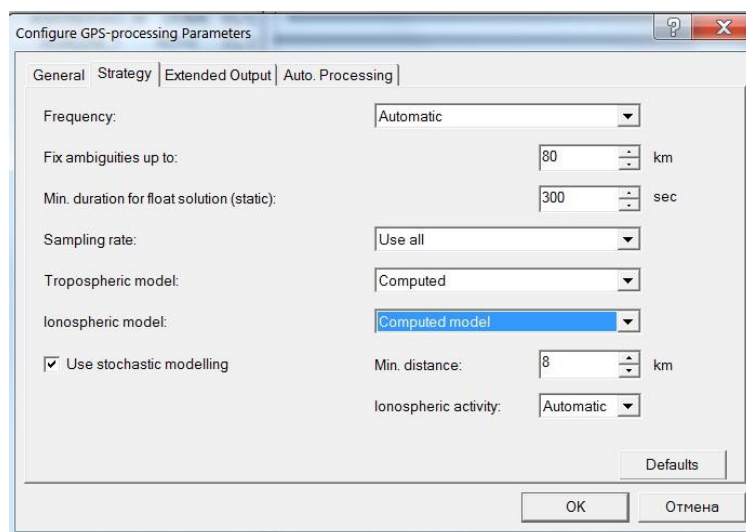


Рис. 2.18. Закладка *Strategy* окна настройки параметров обработки

Индивидуальной настройке в этой закладке подлежат только способы получения моделей тропосферы и ионосферы. В связи с длительностью интервалов ГНСС-измерений в спутниковой сети, обработка которой выполняется в лабораторной работе № 1 (до семи суток), появляется возможность теоретически разработанные модели тропосферы и ионосферы Земли, используемые обычно в процессе обработки, заменить на их эмпирические значения, вычисленные по данным ГНСС-измерений. При таком варианте настройки параметров обработки ГНСС-измерений используется не теоретическая модель тропосферы и ионосферы Земли (и, в случае несоответствия реальных условий в атмосфере во время ГНСС-измерений теоретическим, за счет неточного учета их влияния вносятся систематические ошибки), а вычисленная по реальным ГНСС-измерениям модель. Такая модель (в случае достаточно репрезентативной выборки измерений – не менее суток) может существенно улучшить качество (точность) обработки ГНСС-измерений. Для коротких интервалов наблюдений (несколько часов) использовать вычисленную модель тропосферы вместо одной из теоретических следует с осторожностью, в общем случае для коротких интервалов наблюдений рекомендуется использовать одну из заложенных (рекомендуется та, что установлена по умолчанию) теоретических моделей.

Для этого в строке *Tropospheric model* выбрать из списка *Computed* (вычислена), а в строке *Ionospheric model* выбрать из списка *Computed model* (вычислена модель).

В закладке *Extended Output* установить значения по умолчанию, нажав кнопку внизу окна *Defaults*. Настройки закладки *AutoProcessing* не имеют значения для обработки в ручном режиме, в котором выполняются лабораторные работы. На этом процесс настроек завершен;

3) выбором референчных (базовых) и роверных (определяемых) станций реализуется относительный принцип ГНСС-измерений, когда приращения координат по базовому ГНСС-вектору передаются от исходных пунктов с известными координатами (в нашем случае это 4 пункта МГС) к определяемым пунктам (в нашем случае это 1 начальный пункт развиваемой спутниковыми методами геодезической сети).

Для выбора 4 исходных пунктов МГС в качестве референчных перейдите в закладку окна *GPS-Processing*, где нажмите кнопку *Select Mode: Reference* (режим выбора: Референц) в виде молоточка с красной полосой (на рис. 2.16 она вторая слева), после чего у стрелки мыши появится надпись *Reference*, и данным инструментом щелкните по всем 7-дневным интервалам наблюдений на всех 4 пунктах МГС. После каждого нажатия интервал наблюдений окрасится в красный цвет (цвет референц-станции), а весь период наблюдений на станции МГС окрасится в серый цвет, означая, что этот временной интервал покрыт данными ГНСС-измерений с этой референцной станции.

Для выбора пункта в качестве определяемого нажмите кнопку *Select Mode: Rover* (режим выбора: Ровер) в виде молоточка с зеленой полосой (на рис. 2.16 она третья слева), после чего у стрелки мыши появится надпись *Rover* и данным инструментом щелкните по всем 7 дневным интервалам наблюдений на начальном пункте развиваемой ГГС-сети. После каждого нажатия интервал наблюдений окрасится в зеленый цвет (цвет роверной станции);

4) вычисление средних координат начального пункта и анализ результатов.

Назначением референчных и роверных станций завершается подготовка к началу процесса вычислений: после назначения хотя бы одного роверного пункта, совпадающего по времени наблюдений хотя бы с одной референ-

цной станцией (попадающей в «зону временного действия» референционной станции, обозначаемой на графике серым цветом), становится активной кнопка запуска процесса вычислений в виде 2 шестеренок в панели инструментов ПО (на рис. 2.16 она самая правая). Запуск процесса вычисления осуществляется нажатием этой кнопки, после чего появляется прогрессирующая шкала, в графическом виде отображающая процесс обработки всех выбранных вами на предыдущем этапе базовых линий.

После завершения процесса обработки автоматически появится закладка *Results*, в которой приведены результаты обработки ГНССизмерений (рис. 2.19). Выберите все строки этой таблицы результатов вычислений, нажав правой кнопкой мыши в окне результатов, и в появившемся контекстном меню выберите опцию *Select (выбрать)*, и в ней – подопцию *All (все)*. Для сохранения результатов вычислений вызовите это КМ еще раз, щелкнув правой кнопкой мыши в окне результатов, и выберите опцию *Store (сохранить)*. Критерием того, что результаты вычисления базовой линии сохранены, являются:

-наличие слова «Yes» в закладке *Results*, в колонке под названием *Stored Status (статус сохранения)*;

-наличие в закладке *View/Edit* красной линии со стрелкой, соединяющей базовый и референчный пункт, стрелка показывает направление передачи приращений координат (от референчной (исходной) к роверной (определяемой) точке).

Reference Id	Rover Id	Stored Status	Start	Duration	Type	Solution type	Frequency
ARTU	DOVO	No	01/07/2014 05:59:44	23h 59' 30"	Static	Float	Iono free (L3)
ARTU	DOVO	No	01/09/2014 05:59:44	23h 59' 30"	Static	Float	Iono free (L3)
ARTU	DOVO	No	01/10/2014 05:59:44	23h 59' 30"	Static	Float	Iono free (L3)
ARTU	DOVO	No	01/11/2014 08:59:44	20h 59' 30"	Static	Float	Iono free (L3)
ARTU	DOVO	No	01/12/2014 05:59:44	23h 59' 30"	Static	Float	Iono free (L3)
IRKT	DOVO	No	01/07/2014 05:59:44	23h 59' 30"	Static	Float	Iono free (L3)
IRKT	DOVO	No	01/09/2014 05:59:44	23h 59' 30"	Static	Float	Iono free (L3)
IRKT	DOVO	No	01/10/2014 05:59:44	23h 59' 30"	Static	Float	Iono free (L3)
IRKT	DOVO	No	01/11/2014 08:59:44	20h 59' 30"	Static	Float	Iono free (L3)
IRKT	DOVO	No	01/12/2014 05:59:44	23h 59' 30"	Static	Float	Iono free (L3)
NVSK	DOVO	-	01/07/2014 05:59:44	23h 59' 30"	Static	-	-
NVSK	DOVO	No	01/07/2014 06:00:14	23h 59' 00"	Static	Float	Iono free (L3)
NVSK	DOVO	-	01/09/2014 05:59:44	23h 59' 30"	Static	-	-
NVSK	DOVO	No	01/09/2014 06:00:14	23h 59' 00"	Static	Float	Iono free (L3)
NVSK	DOVO	-	01/10/2014 05:59:44	23h 59' 30"	Static	-	-
NVSK	DOVO	No	01/10/2014 06:00:14	23h 59' 00"	Static	Float	Iono free (L3)
NVSK	DOVO	No	01/11/2014 08:59:44	20h 59' 30"	Static	Float	Iono free (L3)
NVSK	DOVO	-	01/12/2014 05:59:44	23h 59' 30"	Static	-	-
NVSK	DOVO	No	01/12/2014 06:00:14	23h 59' 00"	Static	Float	Iono free (L3)
POL2	DOVO	No	01/07/2014 05:59:44	23h 59' 30"	Static	Float	Iono free (L3)
POL2	DOVO	No	01/09/2014 05:59:44	23h 59' 30"	Static	Float	Iono free (L3)
POL2	DOVO	No	01/10/2014 05:59:44	23h 59' 30"	Static	Float	Iono free (L3)
POL2	DOVO	No	01/11/2014 08:59:44	20h 59' 30"	Static	Float	Iono free (L3)
POL2	DOVO	No	01/12/2014 05:59:44	23h 59' 30"	Static	Float	Iono free (L3)

Рис. 2.19. Окно результатов вычисления базовых линий

Если для определяемого пункта (в нашем случае это начальный пункт создаваемой ГГС), координаты которого получены из нескольких вариантов (а определяемый в данной ЛР-1 пункт вычисляется из множества базовых векторов) с различием между ними на величину, больше, чем значение установленного в ПО допуска (7,5 см), в процессе сохранения результатов обработки появится предупреждение (см. рис. 1.14), нажмите ОК для продолжения сохранения. Для удобства поиска и последующего анализа пункты, расхождения вариантов координат которых превышают установленные допуски, выделены на схеме сети в закладке *View/Edit* квадратом увеличенного размера, заштрихованным зеленым цветом.

После сохранения результатов вычисления следует просмотреть качество вычисления координат определяемого пункта, в закладке *View/Edit* дважды нажав мышкой на определяемый пункт и в появившемся диалоговом окне свойств точки выбрав закладку *Mean (среднее)* (рис. 2.20).

В ней вычисленные от исходных пунктов МГС базовые линии, которые по внутренним критериям ПО LGO отбракованы и не включены в вычисление средних координат, выделены треугольником с восклицательным знаком. Базовые линии, принятые в обработку, помечены «галкой» в квадратике. Если исходный пункт вычислен без отбракованных базовых линий, то задача решена и можно переходить к пункту 4 лабораторной работы № 1.

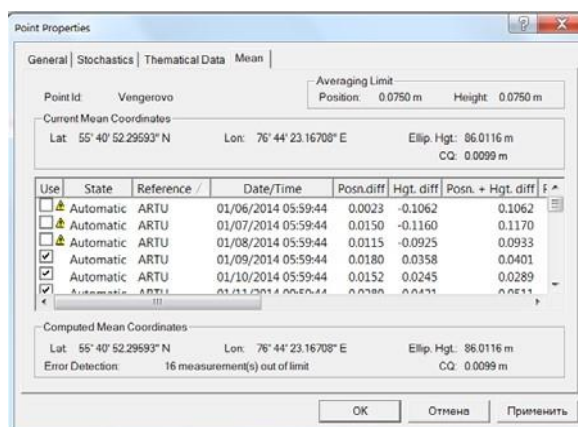


Рис. 2.20. Закладка *Mean* окна свойств точки

Если при вычислении начального пункта имеются базовые линии, исключенные из обработки (начальный пункт на схеме отображен в виде зеленого заштрихованного квадрата увеличенного размера), необходимо проана-

лизировать причину этого и попробовать пересчитать исключенные базовые линии при других параметрах обработки с целью улучшения результатов. При этом, если для данной базовой линии (БЛ) забракованы вычисления за несколько дат, то все их нужно удалить. Для этого в закладке *View/Edit* выделить нужную БЛ, нажав левой кнопкой мыши, затем нажатием правой кнопкой мыши вызвать контекстное меню в котором выбрать опцию *Delete* и в появившемся диалоговом окне (рис. 2.21) проставить «галки» напротив тех дат, в которые вы хотите удалить вычисление БЛ и нажмите ОК.

После удаления всех отбракованных БЛ до определяемой точки ее условный знак из заштрихованного квадрата изменится на двойной круг (статус осредненных координат), что свидетельствует об отсутствии при определении его координат БЛ, выходящих за пределы допуска. Затем следует поочередно анализировать, повторно вычислять при новых параметрах обработки и сохранять одну линию между выбранными пунктами за каждую дату, проверяя, как это было описано выше, факт включения (исключения) полученного результата в вычисление средних координат пункта.

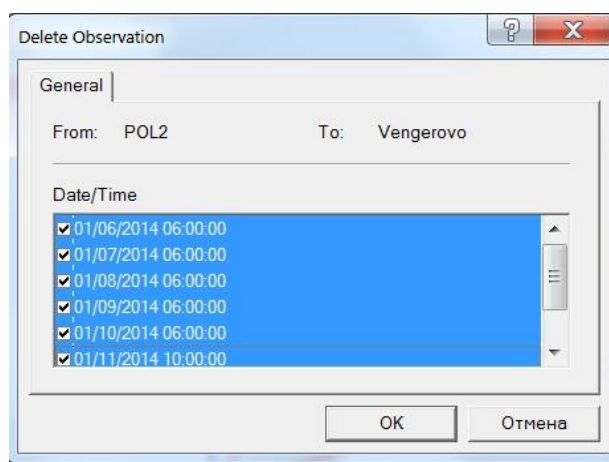


Рис. 2.21. Окно удаления вычисления отбракованных базовых линий

Анализ вычисления отбракованных линий следует начинать с просмотра отчета по вычислению этих базовых линий, вызываемого последовательным нажатием: закладка *Results* → нажать в левой половине окна на знак + напротив папки *Results* → развернуть папку с последней датой вычислений, нажав на знак напротив нее + → развернуть папку *Baseline* аналогичным образом → нажать на нужную базовую линию правой кнопкой

мыши и в появившемся контекстном меню выбрать *Open Report* (*открыть отчет*), который содержит детальные сведения о процессе обработки, в том числе информацию о погрешностях в принимаемых от спутников данных.

Прежде всего проверьте наличие предупреждающих сообщений в конце отчета в разделе под названием: «*Processing Errors and Warning*» (*ошибки обработки и предупреждения*). Если в этом разделе содержатся сведения об отсутствии надежной информации о координатах или эфемеридах некоторых спутников или содержатся другие предупреждающие сообщения, всегда в первоочередном порядке следует устранить указанные нарушения (дополнительно скачать точные эфемериды или сырые данные ГНСС-наблюдений и т. д. в соответствии с имеющимся сообщением).

На следующем этапе анализа попробуйте перевычислить отбракованную базовую линию при других установках: а) увеличив маску горизонта до 20-25 градусов; б) исключив некоторые спутники с большим количеством срывов наблюдений; в) вставив окна в периоды наблюдений, когда было много срывов или недопустимо высокие факторы DOP и PDOP. Сохраните вычисленную при других установках базовую линию и проверьте, включена ли она в вычисление среднего или нет. В случае отрицательного результата удалите сохраненный результат вычисления БЛ и вычисляйте ее несколько раз при изменении одного из параметров обработки. Показателем успеха данной стратегии является включение вычисленной с новыми параметрами обработки базовой линии в вычисление средних координат определяемого пункта.

В конечном итоге оставьте сохраненными только базовые линии, использованные для вычисления средних координат, остальные удалите, как это показано выше. После удаления всех отбракованных БЛ до определяемой точки ее условный знак из заштрихованного квадрата изменится на двойной круг, что свидетельствует об отсутствии при определении его координат БЛ, выходящих за пределы допуска.

В любом случае для вычисления средних координат начального пункта развиваемой ГГС должно быть использовано не менее 2 базовых векторов от каждого исходного пункта МГС.

РЕКОМЕНДАЦИЯ! Точность измерений базовых векторов средствами ГНСС-измерений различна в плане и по высоте, в общем случае передача

высот между пунктами осуществляется с точностью в 2 раза грубее, чем передача плановых координат.

Поэтому в лабораторной работе № 1 допускается в случае затруднений с получением средних координат начального пункта от пунктов МГС с точностью, находящейся в пределах установленного в проекте допуска, увеличить допуск для определения высоты пункта. Для этого нужно закрыть проект и в окне обзора существующих в базе данных (БД) ПО LGO проектов (рис. 2.22) вызвать окно свойств проекта (нажать правой кнопкой мыши на строке с названием проекта и в появившемся контекстном меню выбрать *Properties*), рис. 2.23.

Contents	Name	Location	Date Created	Coordinate System
Projects	ИП_IGS_АБС_НСО	C:\Users\obidenko\Desktop\МОЯ Педагог...	08/01/2014 11:32:58	WGS 1984
	Вариант 25	C:\INCOGN\LGO_PROLECTS\Вариант_25\	10/26/2014 13:40:01	SK_42_14
	BCE_31_АБС_НСО_84	C:\PGO_Projects\BCE_31_АБС_НСО_84\	04/27/2014 08:33:47	Bap_25_3D
	КАТАЛОГ_АБС_СК_42_13	C:\INCOGN\LGO_PROLECTS\КАТАЛОГ_АБ...	10/25/2014 20:48:18	SK_42_13
	АБС НСО СК-95 14	C:\INCOGN\LGO_PROLECTS\АБС НСО СК-...	07/07/2013 20:39:16	SK 42 14

Рис. 2.22. Окно обзора существующих в БД ПО LGO проектов

В данном окне, в окошке допуска расхождений высот из различных вариантов решения базовых линий (*Max. Distance between different solution (Height)*) вставить величину порядка 0,12–0,13 м при аналогичной величине для плановых координат *Max. Distance between different solution (Position)* равной 0,075 м. Этим действием будут установлены допуски по точности определения высот пунктов, более грубые, чем допуски в плане, и при этом точность получения координат начального пункта развиваемой спутниковой геодезической сети будет соответствовать общему требованию ($\leq 0,2$ м, см. табл. 2.1). Факт и величину увеличения допуска на расхождение высот из разных вариантов их вычисления отразить в примечании к табл. 2.5.

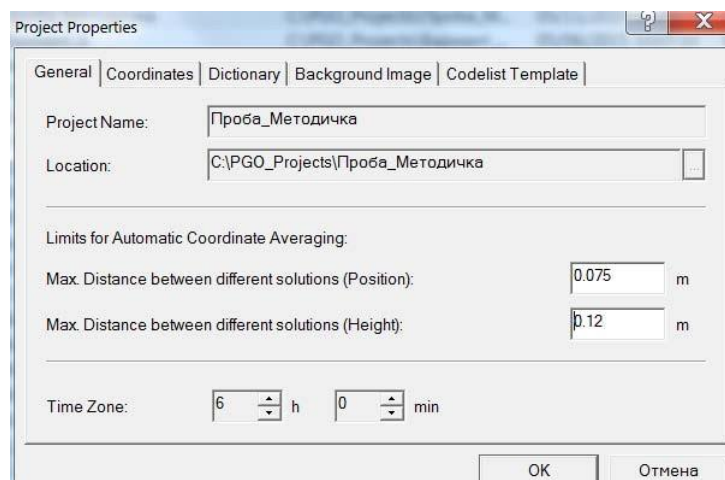


Рис. 2.23. Увеличение допуска разности высот в окне свойств проекта

Вид сети базовых векторов для варианта № 5, вычисленных на данном этапе выполнения лабораторной работы № 1, представлен на рис. 2.24.

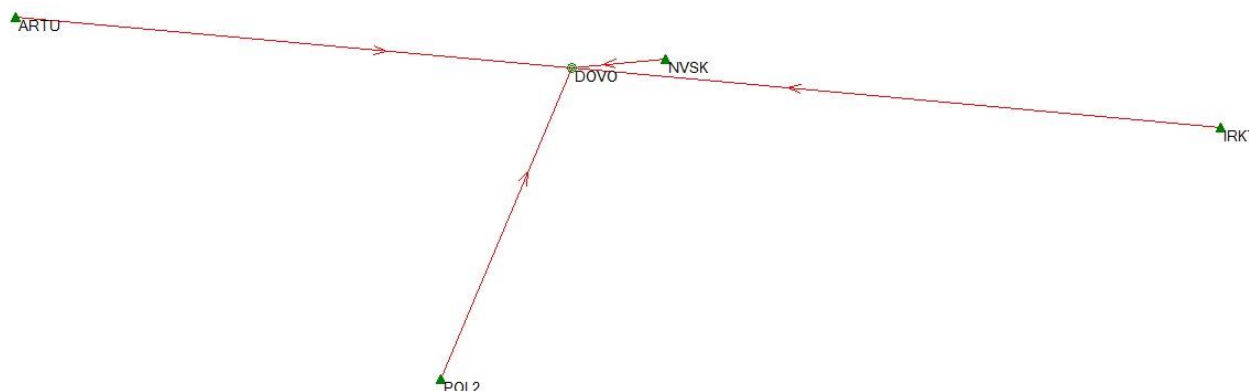


Рис. 2.24. Промежуточная схема сети базовых векторов для варианта № 5

Координаты начального пункта сети, вычисленные путем осреднения вариантов координат, полученных от 4 пунктов МГС, являются предварительными его координатами. В некоторых проектах, где не требуется максимальная точность привязки развиваемой геодезической сети к мировым геоцентрическим системам координат СК ITRF, WGS-84 (например, если конечным итогом работ является получение координат пунктов только в референцной (государственной или местной) системе координат), можно средние координаты НП, полученные с точностью порядка $\leq 0,2$ м принять в качестве его окончательных координат. Однако в проектах, где требуются точные координаты пунктов создаваемой геодезической сети в СК

ITRF, WGS-84, необходимо выполнить уравнивание сети по привязке НП к мировой геоцентрической СК, и в качестве конечных координат НП принять его уравненные координаты.

Однако до процесса уравнивания требуется осуществить объективный внешний контроль качества вычисления базовых векторов, соединяющих НП с пунктами МГС, в качестве элементов которого используются следующие 2 приема:

- вычисление в ПО LGO по тем же ГНСС-измерениям, что использовались для определения средних координат НП, базовых векторов между исходными пунктами МГС, и сравнение их с соответствующими базовыми векторами, вычисленными по точным (каталожным) координатам этих пунктов в ITRF на дату измерений;

- формирование из вычисленных в ПО LGO базовых векторов от исходных пунктов МГС до НП и базовых векторов между исходными пунктами МГС замкнутых полигонов с целью оценки качества вычислений по невязкам полигонов.

4. *Вычисление базовых ГНСС-векторов между исходными пунктами МГС* выполняется аналогично тому, как были вычислены базовые векторы от пунктов МГС до начального пункта сети. При этом координаты пунктов МГС и параметры обработки не изменяются. Присвоение пунктам МГС, образующим базовые векторы, статусов референционной или роверной станции осуществляется в произвольном порядке. Всего рекомендуется вычислить 3 базовых вектора от POL2 до ARTU, IRKT, NVSK, а от NVSK – до IRKT и ARTU.

В пояснительной записке о лабораторной работе № 1 привести схему сети. Пример схемы сети для варианта 5 лабораторной работы № 1, сформированной после вычисления базовых векторов между исходными пунктами, приведен на рис. 2.25.

Если среди базовых линий между исходными пунктами есть исключенные из обработки (некоторые из пунктов МГС на схеме отображены в виде заштрихованного квадрата увеличенного размера), необходимо проанализировать причину этого и попробовать пересчитать исключенные базовые линии при других параметрах обработки с целью улучшения результатов. Технология анализа и пересчета аналогична той, что была применена при вычислении координат начального пункта.

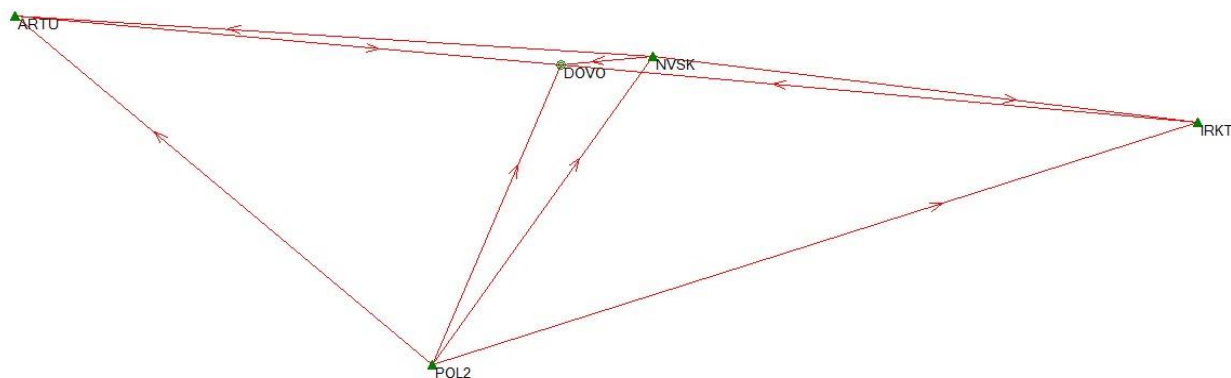


Рис. 2.25. Окончательная схема сети базовых векторов для варианта № 5

В любом случае между соответствующими исходными пунктами МГС должно быть вычислено не менее 2 базовых векторов, имеющих расхождение приращений координат не более допустимого в ПО LGO ($\pm 7,5$ см) или, что идентично, дающих расхождения вычисленных координат пункта МГС, принятого в качестве определяемого (роверного) в данном базовом векторе не более допустимого.

5. Контроль и оценка точности вычислений.

1) сравнение вычисленных длин линий между пунктами МГС с их точными значениями выполняется для того, чтобы оценить точность примененной для определения координат начального пункта геодезической сети технологии вычисления базовых линий. Для этого результаты вычисления БЛ, полученные в лабораторной работе № 1 (с. 70), и длины линий, вычисленные по точным координатам пунктов МГС, вносятся соответственно в графы 3 и 4 табл. 2.6.

При вычислении БЛ по точным координатам пунктов МГС использовать формулу:

$$L_i = \sqrt{(X_i - X_{i-1})^2 + (Y_i - Y_{i-1})^2 + (Z_i - Z_{i-1})^2}, \quad (2.2)$$

где X_i , Y_i , Z_i , X_{i-1} , Y_{i-1} , Z_{i-1} – прямоугольные координаты соответственно начальной и конечной точки базового вектора ГНСС-линии, соединяющей 2 пункта МГС.

Final Coordinates			
	Reference:POL2	Rover:IRKT	
Coordinates:			
Latitude:	42° 40' 47.17355" N	52° 13' 08.48562" N	
Longitude:	74° 41' 39.36510" E	104° 18' 58.47836" E	
Ellip. Hgt:	1714.1959 m	502.2148 m	
Solution type:	Float		
GNSS type:	GPS		
Frequency:	Ionofree (L3)		
Ambiguity:	No		
Quality:	Sd. Lat: 0.0002 m Posn. Qlty: 0.0007 m	Sd. Lon: 0.0006 m Sd. Slope: 0.0006 m	Sd. Hgt: 0.0013 m
M0:	0.1879 m		
Cofactor matrix Qxx:	0.00000157	-0.00000105 0.00001073	-0.00000028 -0.00000051 0.00004629
Baseline vector:	dLat: 9° 32' 21.31206" Slope: 2435345.1145 m	dLon: 29° 37' 19.11327"	dHgt: -1211.9810 m
DOPs (min-max):	GDOP: 2.0 - 760.9 PDOP: 1.7 - 757.1	HDOP: 1.0 - 723.5	VDOP: 1.4 - 223.1

Рис. 2.26. Фрагмент отчета по вычислению базовой линии

Длину базовой линии, полученной в результате обработки ГНССизмерений на данную дату наблюдений, взять в строке *Baseline Vector, Slope* (наклонная дальность) раздела *Final Coordinates* отчета обработки базовой линии (порядок открытия отчета приведен в пп. 4, с. 70, пример этого раздела приведен на рис. 2.26) или вычислить по приращениям координат, отображаемым в окне свойств базовой линии. Для этого выделить нужную линию на схеме сети, нажав правой кнопкой на линию, вызвать контекстное меню, в котором выбрать *Properties (свойства)*, в появившемся окне *Observations* (рис. 2.27) выбрать из списка нужную дату наблюдений этой линии, скопировать из строки *Baseline Vector* 3 приращения координат (Dx, Dy, Dz) в Excell-таблицу, где, используя формулу (2.2) (заменяв в ней разности координат на приращения координат), вычислить длину базовой линии.

Рис. 2.27. Окно свойств базовой линии

Таблица 2.6

Оценка точности вычисления длин базовых линий

Базовая линия от ____ до ____	Дата наблюдений	Длина базовой линии		СКО единичного измерения (по внутренней сходимости) m , (м)	Истинная ошибка (разность выч.-изм.)
		измеренная: - решения из от- дельных дат; - среднее значе- ние	вычисленная по координатам пунктов МГС		
1	2	3	4	5	6

СКО единичного измерения (по внутренней сходимости) при заполнении данной таблицы вычисляется по формуле:

$$m = S \frac{\Delta^2}{n}, \quad (2.3)$$

где Δ – разность между длиной базовой линии за текущую дату и средним ее значением; n – количество длин базовых линий (дат), участвующих в вычислении среднего.

Истинная ошибка определения длины базовой линии из обработки ГНСС-измерений при заполнении табл. 2.6 определяется как разность среднего (графа 3) и точного (графа 4) ее значения, вычисленного по координатам исходных пунктов МГС;

2) *невязки замкнутых фигур (полигонов)* являются важным показателем точности геодезического построения, созданного для определения начального пункта геодезической сети и, соответственно, точности определения координат этого пункта. Для вычисления невязок полигонов построенной вами в лабораторной работе № 1 спутниковой сети перейдите в окно *View/Edit*. Щелкните правой кнопкой в поле окна, появится контекстное меню, где после вычисления базовых векторов, образующих замкнутые фигуры, стала доступной опция *Show GPS Loop Misclosure (показ невязок GPS-полигонов)*.

После выбора этой опции появится окно формирования и вычисления невязок (рис. 2.28), где в закладке *General*, в левой части окна есть блоки для

формирования полигонов, а в правой его части – строки для отображения соответствующих им невязок.

Рис. 2.28. Окно формирования полигонов и вычисления их невязок

Формированию подлежат полигоны, в которых участвует определяемый пункт (начальный пункт геодезической сети), всего таких полигонов должно быть образовано не менее 9. Для создания требуемых полигонов мышкой на схеме сети выбирайте последовательно включаемые в полигон линии. При выборе линии появляется окно, в котором требуется выбрать одну из дат наблюдений данной линии. Выбирайте даты таким образом, чтобы образующие полигон базовые векторы были независимыми (нетривиальными), что выполняется при использовании базовых векторов разных сессий (дат) наблюдений. После выбора нажмите ОК. После выбора последней линии полигона убедитесь, что в списке точек в графе *Loop points* (точки полигона) первой и последней выбрана одна и та же точка. Для удаления точек полигона из списка выбора дважды щелкните по ней в окне *Loop points*. Если полигон задан геометрически правильно, в соответствующих строках средней таблицы окна появятся его невязки:

- в первой строке *Misclosure* – абсолютная невязка полигона (м);
- во второй строке *Ppm* – погрешность в миллиметрах на 1 км длины полигона;

- в третьей строке *Ratio* – знаменатель относительной невязки полигона.

В правой таблице этого же окна приведена та же невязка полигона с разложением по широте (*dLat*), долготе (*dLon*) и высоте (*dHgt*).

После завершения формирования полигонов зайдите в закладку *Report* (отчет), где содержится таблица, каждая строка которой соответствует сформированному полигону, а каждый столбец – определенной его характеристике. Управлять количеством столбцов в таблице отчета можно, нажав правой кнопкой мыши на заголовок таблицы, и в появившемся контекстном меню выбрать опцию *Columns* (столбцы), затем в появившемся

окне *Columns* установить «галки» напротив названий тех столбцов, которые вы решили оставить в отчете (для внесения в табл. 2.7 необходимо оставить помимо названий вершин полигона такие его характеристики, как *Slope dist.* (длина полигона), *Misclosure* (невязка), *Rpm* (Невязка относительная), *Ratio* (знаменатель относительной ошибки). Для задания требуемого порядка следования столбцов (см. табл. 2.7) следует нажать на заголовок таблицы и, удерживая кнопку мыши, перетащить столбец в нужное положение.

Для сохранения сформированного вами с учетом вышеизложенных рекомендаций отчета вызовите контекстное меню, щелкнув правой кнопкой в поле закладки *Report*; выберите опцию *Save As* (сохранить как); в появившемся окне укажите путь к заданной Вами директории; задайте имя файлу; в строке *Save As type* выберите из списка текстовый формат – *Text (Tab Delimited*.txt)*; в окошке *Include Header* (включая заголовки) поставьте «галку»; в строке *Lines to save* (сохранить строки) выберите из списка *All* (все), сохраните отчет, нажав ОК. Внесите полученные сведения о невязках полигонов из сохраненного в текстовом формате файла отчета в табл. 2.7;

Таблица 2.7 Отчет о невязках замкнутых полигонов спутниковой сети

№ п/п	Названия вершин полигона	Длина поли- гона (км)	Невязка аб- солютная (м)	Невязка отно- сительная (ppm)	Знаменатель относительной ошибки (Ratio)

6. Уравнивание сети по привязке НП к исходным пунктам МГС выполняется ограниченное, для чего в сети в качестве исходных (контрольных) следует выбрать 4 исходных пункта МГС, а в качестве определяемого – начальный пункт создаваемой геодезической сети. Базовые векторы, соединяющие исходные пункты между собой, до уравнивания необходимо удалить (процедура удаления вычисленных базовых векторов описана на с. 72), оставив в сети только радиальные базовые векторы, соединяющие исходные пункты МГС с НП, т. е. сеть для уравнивания должна иметь вид, подобный показанному для варианта 5 на рис. 2.24.

Уравнивание сети в ПО LGO выполняется с использованием соответствующей закладки ***Adjustment***. В стандартной процедуре уравнивания последовательно запускаются и выполняются 3 процедуры:

- 1)предварительный анализ;
- 2)вычисление невязок замкнутых полигонов;
- 3)уравнивание сети.

По результатам выполнения каждой из этих процедур осуществляется анализ, и к следующей процедуре процесса уравнивания переходят после проверки результатов предыдущего этапа.

Предварительный анализ подлежащей уравниванию сети базовых векторов, привязывающих НП к пунктам МГС, выполняется последовательным нажатием ***Adjustment***→***Pre-analysis***. Для просмотра результатов предварительного анализа необходимо последовательно нажать ***Adjustment***→***Results***→***Pre-analysis***. В открывшемся отчете о предварительном анализе убедитесь, что Вы правильно сконфигурировали сеть, в которой заданы 4 исходных пункта (***Number of (partly) known stations*** – 4), 1 – определяемый (***Number of unknown stations*** – 1), а всего – 5 (***Total*** – 5). Из отчета о предварительном анализе сети следует выяснить степень свободы сети и отразить данные о количестве исходных, определяемых величин и избыточных измерениях в пояснительной записке по лабораторной работе № 1. Если в процессе изучения результатов предварительного анализа обнаружены ошибки конфигурирования сети, то их нужно устранить, убедившись затем путем повторного запуска процедуры предварительного анализа и просмотра ее результатов, что выявленные ошибки устранены и сеть сконфигурирована правильно.

В стандартной процедуре уравнивания сети вычисление невязок замкнутых полигонов является следующим предварительным этапом уравнивания сети, в ходе которого проверяются величины невязок, а также их соответствие установленным допускам. Однако в сети по привязке НП к пунктам МГС есть только радиальные базовые векторы, соединяющие НП с пунктами МГС, и отсутствуют замкнутые полигоны

(см. рис. 2.24). Если все же запустить процедуру вычисления невязок в подлежащей уравниванию сети из меню уравнивания (последовательно нажав ***Adjustment***→***Compute Loops***), то в отчете по результатам их вычисления (последовательно нажать ***Adjustment***→***Result***→***Loops***) будет содер-

жаться единственное сообщение о том, что невязок не найдено (*No loops found*).

После проверки корректности конфигурирования сети и невязок замкнутых полигонов (если они есть в сети) нажатием **Adjustment**→**Compute Network** запускается непосредственно процесс уравнивания сети. Для просмотра результатов уравнивания последовательно нажмите **Adjustment**→**Result**→**Network**. В открывшемся отчете содержится вся информация об уравнивании сети, оценке точности измерений и результатов, в том числе уравненные координаты начального пункта.

Окончательными координатами начального пункта сети являются его уравненные координаты. Для их получения дважды щелкните по начальному пункту на схеме сети (закладка *View/Edit*), в появившемся окне свойств точки (рис. 2.29) в строке *Point Class* выберите из списка *Adjusted* (уравненные), в строке *Coordinate Type* выберите из списка *Cartesian*, после чего из соответствующих строк окна скопируйте и вставьте в табл. 2.8 (графы 2, 3) прямоугольные координаты начального пункта в СК ITRF X , Y , Z , а также СКО их определения m_x , m_y , m_z .

Field	Value	Unit	Standard deviation	Unit
X	833178.1186	m	0.0024	m
Y	3541852.6156	m	0.0044	m
Z	5221039.6534	m	0.006	m

Рис. 2.29. Получение координат НП в окне свойств точки

Заменяв вид отображения координат в строке *Coordinate Type* на *Geodetic*, получим в этом же окне геодезические координаты начального пункта в

СК ITRF B , L , H , а также СКО их определения (*standart deviation* m_B m_L m_H), которые также необходимо скопировать из соответствующих строк окна и вставить в графы 4, 5 табл. 2.8.

Таблица 2.8

Координаты начального пункта спутниковой геодезической сети в СК ITRF-2008 на дату наблюдений

Аббревиатура пункта	X , м Y , м Z , м	m_X , м m_Y , м m_Z , м	B , $^{\circ}$ ' " L , $^{\circ}$ ' " H , м	m_B , $^{\circ}$ ' " " m_L , $^{\circ}$ ' " " m_H , м
1	2	3	4	5

В табл. 2.9 вносятся полученные вышеуказанным образом уравненные прямоугольные координаты начального пункта в СК ITRF X , Y , Z , его навигационные координаты, полученные аналогичным образом в окне свойств точки (см. рис. 2.29), где в строке *Point Class* из списка вместо *Adjusted* нужно выбрать *Navigated* (навигационные), а также вычисляются разности навигационных и определенных от пунктов МГС точных координат.

Таблица 2.9

Сравнение точных и навигационных координат начального пункта спутниковой геодезической сети

Вариант решения	Координаты в СК ITRF-2008 (м)			Разность координат (м)		
	X	Y	Z	dX	dY	dZ
Навигационное						
От пунктов МГС						

Составление пояснительной записки

Составление пояснительной записки является финальным этапом выполнения лабораторной работы, в которой следует отразить цель работы, основные этапы выполнения задания, полученные результаты.

Пояснительная записка (ПЗ) должна быть оформлена на одной стороне стандартных листов белой бумаги формата А4 размером 210×297 и содержать титульный лист и текстовую часть. На титульном листе указывается наименование учебного заведения, института, специальность, номер

практической работы и ее тема, номер варианта работы, фамилия, подгруппа и подпись студента, фамилия преподавателя.

Текст записки должен содержать в обобщенном изложении описание действий студента при выполнении лабораторной работы, возникших нестандартных ситуаций и принятых решений по их устранению, собственных мыслей и выводов выполнявшего работу. Не приветствуется копирование текста пояснительной записки из работ других студентов или из текста данного пособия.

В пояснительной записке в обязательном порядке приводятся заполненные таблицы (табл. 2.2–2.9, которые для удобства предоставляются обучающимся в формате Word), схема сети, а также комментарии студента по получению приведенных в них результатов.

Контрольные вопросы

1. Какой метод спутниковых ГНСС-измерений используется при создании и развитии государственных геодезических сетей (относительный, абсолютный)?

2. В чем суть относительных спутниковых ГНСС-измерений?

3. Какие мировые геоцентрические системы координат Вы знаете?

4. Что такое начальный пункт геодезической сети, создаваемой с применением ГНСС-технологий?

5. Для чего требуется привязка начального пункта создаваемой спутниковой геодезической сети к мировой геоцентрической системе координат?

6. Назовите возможные варианты привязки начального пункта создаваемой спутниковой геодезической сети к мировой геоцентрической СК и их точность?

7. Назовите наиболее известные в мире и в Российской Федерации высокоточные спутниковые геодезические сети, закрепляющие на местности мировую геоцентрическую систему координат?

8. Какой минимальной продолжительности ГНСС-измерения требуются для привязки пункта к международной ГНСС-сети (МГС) (1 минута, 1 час, 1 сутки, 1 неделя)?

9. Объясните значение аббревиатуры *RINEX*? Что это? Для чего применяется?

Лабораторная работа № 2 Обработка, уравнивание и оценка качества спутниковой геодезической сети, построенной методом относительного статического позиционирования

Время выполнения – 8 часов.

Цель работы: обработка и уравнивание ГНСС-измерений в спутниковой геодезической сети (СГС) с целью получения координат пунктов в системе координат ITRF, оценка точности полученных результатов.

Задачи работы:

- 1) создание проекта в ПО LGO;
- 2) импорт измерений в проект;
- 3) проверка и редактирование введенных в проект данных;
- 4) вычисление базовых векторов сети;
- 5) уравнивание сети;
- 6) составление каталога координат пунктов СГС;
- 7) составление пояснительной записки по лабораторной работе № 2.

Краткие теоретические сведения

Выполнение лабораторной работы № 2, а также выполнение производственных работ по обработке и уравниванию ГГС, развиваемых с использованием спутниковых технологий, требует понимания оператором, осуществляющим камеральную обработку полевых ГНСС-измерений, сути процессов измерений и вычислений. Поэтому в настоящем теоретическом разделе лабораторной работы № 2 приведены некоторые базовые понятия технологии спутниковых измерений и их камеральной обработки.

Базовый ГНСС-вектор (базовая ГНСС-линия) – это пространственный вектор между двумя пунктами, вычисляемый на основании синхронно выполненных на них ГНСС-измерений. Из обработки синхронно выполненных на двух пунктах ГНСС-измерений определяются приращения геоцентрических координат (dX , dY , dZ), которые определяют длину и направление в пространстве базового вектора между этими двумя пунктами. Наряду с термином «базовый вектор» (БВ) употребляются термины «вектор базовой линии» (ВБЛ) или «базовая линия» (БЛ). В данном пособии и при выполнении лабораторной работы № 1–3 будем считать эти термины идентичными и использовать их вышеуказанные сокращения.

Зависимые (тривиальные) и независимые (нетривиальные) линии – это важное понятие в процессе планирования и выполнения ГНСС-измерений.

Наиболее просто иллюстрировать эти понятия на примере треугольника, образованного тремя пунктами, на которых во время одной сессии тремя ГНСС-приемниками синхронно выполнены ГНСС-измерения.

Как видно из рис. 2.30, вычисленные по синхронным ГНСС-измерениям тремя приемниками 2 базовых вектора (БВ) этого треугольника 1-3 и 1-2 позволяют вычислить и базовый вектор 2-3, так как сумма приращений координат векторов 2-1 и 1-3 дает приращение координат вектора 2-3. В то же время, базовый вектор 2-3 может быть вычислен также и из ГНСС-измерений. Таким образом, 2 БВ вектора этого треугольника являются независимыми (нетривиальными), поскольку они определяют координаты всех 3-х пунктов. Оставшийся третий БВ является зависимым (тривиальным), поскольку он является производным от двух первых независимых БВ, и для его вычисления использовались те же измерения, что и для вычисления первых двух векторов. Таким образом, в треугольнике, синхронно измеренном тремя ГНСС-приемниками, любые 2 БВ являются независимыми, а оставшийся третий – зависимый. В общем случае, справедливо правило, если в синхронных ГНСС-измерениях участвует N приемников, то число независимых БВ равно $N-1$.

Однако при планировании ГНСС-измерений следует иметь ввиду, что нельзя ограничиваться только необходимыми измерениями. С целью контроля качества измерений и обеспечения возможности уравнивания при создании высокоточных спутниковых геодезических сетей необходимо выполнять избыточные ГНСС-измерения, при которых из БВ образуются замкнутые фигуры. Так в указанном на рис. 2.30 треугольнике в обработку должны быть взяты все 3 БВ, чтобы была образована замкнутая фигура (треугольник) и можно было вычислить и оценить на допустимость невязку треугольника. С этой целью базовый вектор 2-3 данного треугольника необходимо измерить в другую сессию (в другой день), при этом он будет по отношению к БВ 1-3 и 1-2 независимым, поскольку будет вычислен по итогам ГНСС-измерений, в которых участвовали другие по отношению к БВ 1-2, 1-3 созвездия спутников, были другие условия измерений и т. д.

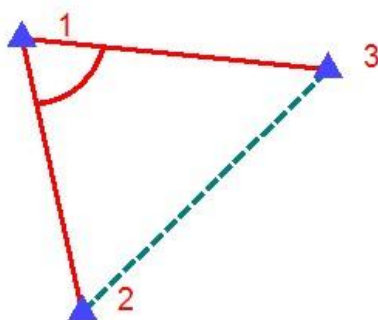


Рис. 2.30. Геодезическая сеть, наблюдаемая тремя ГНСС-приемниками

Аналогично в сети из четырех пунктов, схема которой приведена на рис. 2.31, наблюдаемой четырьмя приемниками, имеется возможность вычислить 6 векторов базовых линий (количество сочетаний из четырех пунктов по 2 в каждом базовом векторе равно 6). Однако любой из этих векторов можно получить путем сложения или вычитания других векторов. На рис. 2.31 сплошными красными линиями показаны *независимые* линии. Три линии, которые показаны зеленым пунктиром, являются *зависимыми* линиями.

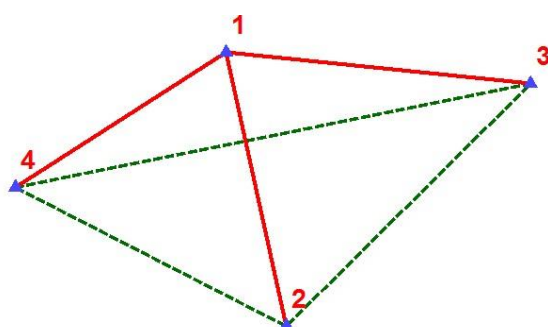


Рис. 2.31. Базовые векторы, измеренные за 1 сеанс четырьмя ГНСС-приемниками

С целью построения сети, указанной на рис. 2.31, с соблюдением требований о формировании из базовых векторов замкнутых полигонов, а также включения в сеть только независимых измерений, наблюдения четырьмя приемниками следует организовать в 2 сеанса измерений, при этом в обработку взять, например, как это показано на рис. 2.32, из первого сеанса векторы 4-1, 1-2, 2-3 (сплошная красная линия), а из второго сеанса векторы 2-4, 4-3, 3-1 (пунктирная зеленая линия).

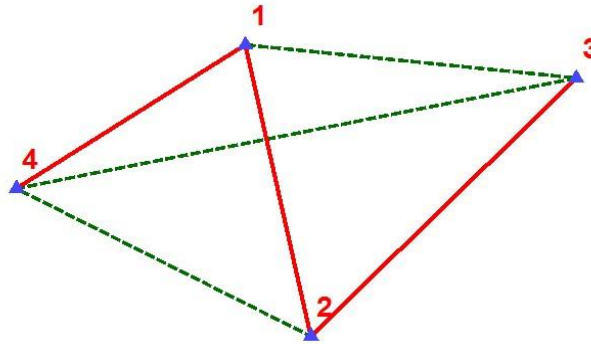


Рис. 2.32. Сценарий наблюдений сети четырьмя ГНСС-приемниками

Неоднозначность, разрешение неоднозначности. В упрощенном виде формулу для определения из фазовых спутниковых ГНСС-измерений расстояния S от фазового центра спутниковой антенны до фазового центра антенны ГНСС-приемника можно написать так:

$$S = N \cdot \lambda + \Delta, \quad (2.4)$$

где N – число целых длин волн несущей частоты навигационного сигнала, укладываемых в расстояние от фазового центра спутниковой антенны до фазового центра антенны ГНСС-приемника; λ – длина волны несущей частоты навигационного сигнала;

Δ – дробная часть длины волны, измеряемая в ГНСС-приемнике в процессе фазовых измерений, дополняющая целочисленную часть расстояния от приемника до спутника ($N \cdot \lambda$) до полного этого расстояния S .

При измерении по фазе несущей ГНСС-приемник имеет техническую возможность и алгоритмы определения дробной части длины волны Δ (или, что то же самое, фазы несущей частоты) с точностью 1-2 % (что при длине волны на частоте $L1$ в 19 см обеспечивает миллиметровую точность измерения). Однако, определить, сколько раз после выхода навигационного импульса с антенны спутника за время его распространения до антенны приемника фаза несущей частоты сигнала совершила полных (360°) периодов (или, что аналогично, сколько раз длина волны несущей частоты уложилась в расстояние от спутника до приемника), приемник не имеет возможности. Отсюда возникает неопределенность, или неоднозначность. Таким образом *неоднозначность* – это термин, используемый в фазовых ГНСС-измерениях для определения неизвестного числа N целых длин волн несущей частоты навигационного сигнала, укладываемого в рас-

стояние от фазового центра спутниковой антенны до фазового центра антенны ГНСС-приемника.

Разрешение неоднозначности – это технология, которая применяется в программном обеспечении для обработки ГНСС-измерений с целью определения числа N целых длин волн несущей частоты навигационного сигнала, укладываемого в расстояние от фазового центра спутниковой антенны до фазового центра антенны ГНСС-приемника.

Решение базовых линий в ПО для обработки ГНСС-измерений с разрешением неоднозначности называется фиксированным решением, оно обеспечивает наивысшую (миллиметровую) точность и является обязательным для линий длиной 20-30 км. С использованием точных эфемерид разрешение неоднозначности может быть достигнуто для линий длиной до 80–100 км, однако такие решения следует принимать с осторожностью. Для линий свыше указанных величин делать попытки разрешить неоднозначность не имеет смысла.

Решение базовых линий без разрешения неоднозначности называется плавающим решением, такое решение является типичным для линий длиной в десятки и сотни километров, и оно обеспечивает точность решения в пределах половины длины волны (для L1 это 19 см), т. е. в пределах 10 см.

Уравнивание спутниковой сети является конечным этапом камеральной обработки ГНСС-измерений и выполняется с целью устранения существующих в сети невязок. Задачами уравнивания являются:

- согласование совокупности всех измерений в сети;
- минимизация и фильтрация случайных ошибок измерений;
- выявление и отбраковка грубых измерений, исключение систематических ошибок;
- получение набора уравненных координат и соответствующих им элементов базовых линий с оценкой точности в виде ошибок или ковариационных матриц.

Таким образом, в итоге уравнивания повышается точность сети и выполняется оценка ее точности и надежности.

Различают свободное, минимально ограниченное и ограниченное (несвободное) уравнивание.

В свободном уравнивании неизвестными считаются все пункты сети.

В этом случае матрица коэффициентов системы уравнений поправок (матрица плана) и, следовательно, нормальная матрица будет иметь дефект ранга, равный трем. Однако использование аппарата псевдообращения матриц, применяемого в некоторых программах, позволяет провести уравнивание.

При фиксировании координат одного пункта выполняется *минимально ограниченное уравнивание*, в котором нормальная матрица оказывается невырожденной. Для достижения значимого контроля при этом способе уравнивания координаты пунктов сети должны определяться не менее чем из двух базовых векторов.

Свободное и минимально ограниченное уравнивание применяются для решения первых трех задач, перечисленных выше. Его результаты отражают внутреннюю точность сети, не деформированной ошибками исходных данных.

При фиксировании более чем трех координат выполняется *ограниченное уравнивание*. Ограниченное уравнивание выполняется после успешного выполнения минимально ограниченного уравнивания для включения вновь построенной сети в существующую сеть, в ее координатную систему, в том числе систему высот. Для этого новая сеть должна быть связана, по крайней мере, с двумя станциями существующей сети.

Следует иметь в виду, что в процессе обработки и уравнивания ГНСС-сети статус и точность координат каждой точки изменяется (повышается) по иерархии: навигационные → вычисленные → осредненные → уравненные. При этом координаты всех иерархических (точностных) уровней для данной точки сохраняются в БД ПО, и оператор, осуществляющий камеральную обработку спутниковой геодезической сети, имеет возможность на любом этапе обработки посмотреть для данной точки триплет (XYZ или BLH) ее координат соответствующего статуса (точности).

Исходные данные, используемое программное обеспечение и оборудование:

-координаты начального пункта спутниковой геодезической сети в системе координат ITRF (получены в результате выполнения лабораторной работы № 1);

-файлы ГНСС-измерений (сырые данные в формате RINEX) на начальном пункте спутниковой геодезической сети (были ранее использованы в лабораторной работе № 1);

-файлы ГНСС-измерений (сырые данные в формате RINEX) на пунктах спутниковой геодезической сети;

-данные калибровок использованных в работе антенн ГНССприемников;

-программное обеспечение Leica Geo Office, версия 5.0

-компьютер с операционной системой Windows и со стандартным пакетом офисных программ, подключенный к сети Интернет.

Порядок выполнения работы

Порядок выполнения лабораторной работы № 2 изложен в соответствии с вышеуказанным перечнем задач, подлежащих решению при ее выполнении.

1.Создание проекта в ПО LGO.

Запуск ПО Leica Geo Office и создание проекта выполните в соответствии с рекомендациями, приведенными в подразд. 1.2 и 1.3.1 данного пособия. Название проекту задать по аналогии с лабораторной работой № 1 по шаблону: *МГ11_ЛР-2_Вариант_23*, где номер группы и вариант лабораторной работы указать свой.

Следует помнить, что проект, сохраненный Вами в указанной при его создании директории на компьютере учебной лаборатории, при необходимости можно перенести в его текущем состоянии на другой компьютер с тем, чтобы зарегистрировать его там в ПО LGO и продолжить работу. Для этого всю папку, содержащую проект, следует скопировать на другой компьютер, а затем на этом, другом компьютере из среды ПО LGO зарегистрировать его. Для регистрации проекта в ПО LGO откройте окно списка имеющихся в базе данных проектов, нажав левой мышкой на кнопку **Projects** в закладке **Managment** начального окна ПО, нажмите правой кнопкой мыши на папку **Projects** со знаком + в левой части начального рабочего окна ПО и в появившемся затем контекстном меню выберите **Register**, а в открывшемся окне регистрации проекта укажите путь к директории, где на другом компьютере сохранена папка проекта, нажмите ОК.

2.Импорт измерений в проект.

При реальных работах по созданию ГГС методом относительных спутниковых ГНСС-измерений сценарий наблюдений сети планируется так, чтобы обеспечить измерение (и последующее вычисление в процессе камеральной обработки) в каждом сеансе независимых (нетривиальных) линий. Сценарий наблюдений геодезической сети в виде центральной системы из 7 пунктов ГГС, обрабатываемой в лабораторной работе № 2 с использованием четырех ГНСС-приемников, проиллюстрирован на примере варианта 23 лабораторной работы № 2, показан на рис. 2.33 и в табл. 2.10. Суть изложенного принципа отбора нетривиальных (независимых) линий в каждую из четырех сессий сценария наблюдений сети четырьмя ГНС-Сприемниками сводится к простому правилу: не наблюдать в данную сессию полностью все линии в одном треугольнике (в теоретической части к лабораторной работе № 2 было показано, что лишь 2 БВ в треугольнике и 3 БВ в четырехугольнике являются независимыми) и, в общем случае, не замыкать фигуры из базовых векторов в одну сессию при любом количестве приемников.

Поэтому, как видно из рис. 2.33, в первый сеанс (зеленый цвет линий) наблюдаются 2 линии (МНКV-BOLO, BOLO-TOGU) одного треугольника и одна линия (TOGU-MASL) второго, а во второй сеанс (коричневый цвет линий) закрывается первый треугольник (линией МНКV-TOGU), второй треугольник (линиями МНКV-TOGU, МНКV-MASL) и измеряются 2 линии (МНКV-MASL, ISKT-MASL) 3-го треугольника. Аналогично 3-й и 4-й сеанс закрывают наблюдениями стороны четырех оставшихся треугольников центральной системы.

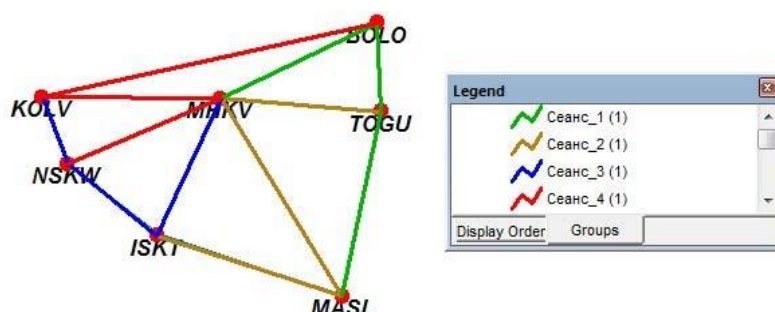


Рис. 2.33. Сценарий наблюдений сети четырьмя приемниками в 4-й сессии

В лабораторной работе № 2 студент должен имитировать процесс планирования полевых измерений в каждую сессию, выбрав из набора суточных ГНСС-наблюдений за неделю на всех пунктах сети АБС НСО в соответствии с вышеизложенным правилом определения независимых (нетривиальных) базовых ГНСС-векторов на схеме своего варианта лабораторной работы № 2 ГНСС-измерения, включаемые в каждую из четырех сессий наблюдений, образующие независимые векторы. Результаты необходимо отразить в пояснительной записке по лабораторной работе № 2, заполнив табл. 2.10 данными для своего варианта.

Для комбинации пунктов, соответствующей (дате) сеансу наблюдений и указанной в табл. 2.10, ГНСС-измерения в формате RINEX импортируются в проект в одну из дат наблюдений, где они участвовали совместно. Так следует сделать для всех четырех сессий.

Состав пунктов, включенных в локальную спутниковую геодезическую сеть данного варианта, указан в прил. 2, схема сети каждого варианта приведена в прил. 3.

Таблица 2.10 Сценарий наблюдений сети четырьмя приемниками в 4-й сессии

№ сессии	Включаемые в сессию пункты	Дата наблюдений	Измеряемые БВ
1	MHKV-BOLO-TOGU-MASL	13.01.2015	MHKV-BOLO, BOLO-TOGU, TOGU-MASL
2	TOGU-MHKV-MASL-ISKT	14.01.2015	MHKV-TOGU, MHKV-MASL, ISKT-MASL
3	MHKV-ISKT-NSKW-KOLV	16.01.2015	MHKV-ISKT, ISKT-NSKW, NSKW-KOLV
4	NSKW-MHKV-KOLV-BOLO	18.01.2015	NSKW-MHKV, MHKV-KOLV, KOLV-BOLO

Сырые данные ГНСС-измерений в формате RINEX на пунктах ГГС представлены для выполнения лабораторной работы № 2 в том виде, как они были скачаны с сайта оператора сети базовых постоянно действующих

дифференциальных станций Новосибирской области (АБС НСО): в виде папок, каждая из которых соответствует дате наблюдений, содержащих данные измерений по всем станциям сети АБС НСО в эту дату. Однако в некоторые даты наблюдений присутствуют наблюдения не на всех четырех пунктах, которые должны быть отнаблюдены в данную сессию. В этом случае данные для этой сессии следует взять из другой даты наблюдений (всего для выполнения лабораторной работы № 2 представлены данные за 7 дней наблюдений, для выполнения же лабораторной работы № 2 требуется 4 сессии наблюдений, поэтому возможность выбора для этих целей сырых данных имеется).

Импорту из папки исходных данных подлежат все 3 типа файлов, относящиеся к RINEX-формату представления данных сырых ГНССизмерений на данном пункте в данную дату наблюдений, например, для пункта TOGU за 13.01.2014 г. это файлы: *toгу0060.14о* (файл наблюдений), *toгу0060.14n* (навигационный файл GPS), *toгу0060.14g* (навигационный файл ГЛОНАСС). Импортирование данных в проект из директории компьютера осуществляется путем последовательного выбора *Import* → *Raw Data*, появится окно *Import Raw Data (импорт сырых данных)*, рис. 2.34. В нижней строке *Files of type (типы файлов)* следует выбрать из списка *Rinex files*. Опция *Include subfolders* отключается, чтобы импортировать не все данные в директории, а лишь отдельные из них. Указать путь к директории, где на Вашем компьютере сохранены файлы сырых ГНСС-измерений на станциях АБС НСО для вашего варианта лабораторной работы № 2 (*C:\MSuP_ГГС\ПРЕПОДАВАТЕЛЬ*), выбрать папку одной из дат наблюдения и, используя комбинацию клавиш **Ctrl + нажатая левая кнопка мыши**, выделить все 12 файлов (4 станции × 3 типа файлов) на четыре пункта данного сеанса наблюдений, затем нажать **Import**.

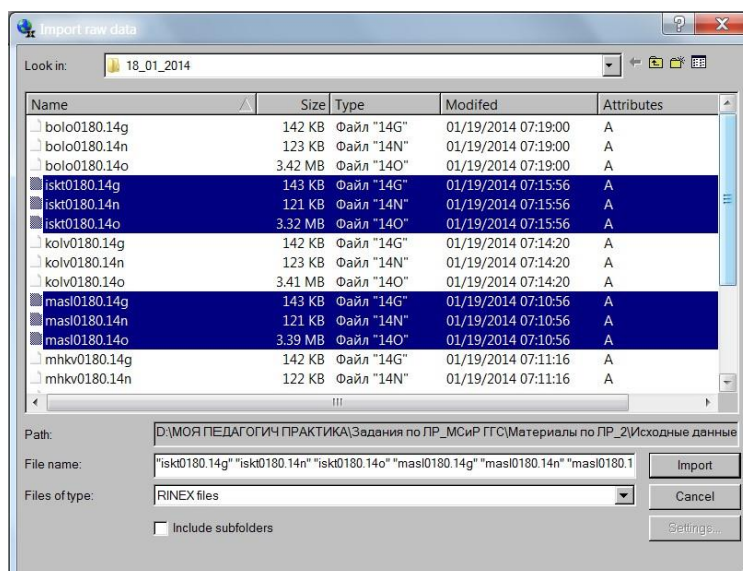


Рис. 2.34. Окно импорта сырых данных в формате *Rinex*

По завершении импорта появится окно (рис. 2.35) *Assign data to project* (*присвоить данные проекту...*), в первой закладке которого *General* появится окно списка проектов. Выберите из этого списка проектов ваш проект для лабораторной работы № 2, в который вы хотите импортировать данные, и нажмите **Assign** (*присвоить*). Процесс копирования данных в проект будет отображаться в виде прогрессивной шкалы, исчезающей по завершении процедуры, после чего нажмите кнопку **Close**.

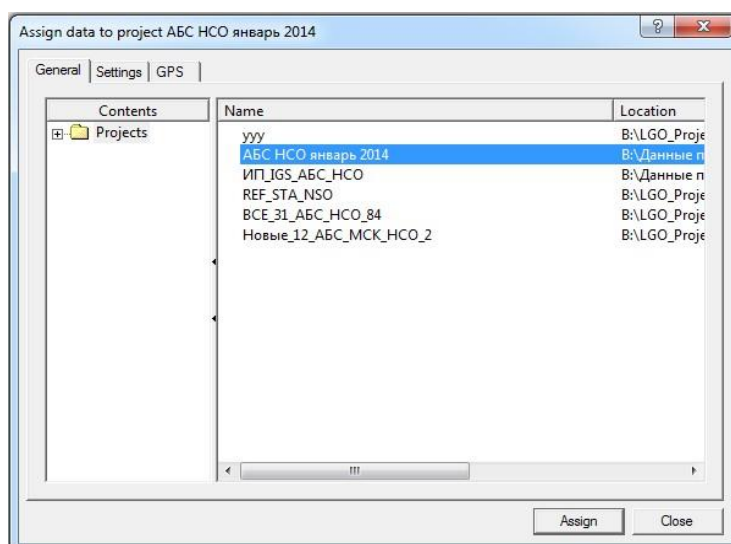


Рис. 2.35. Закладка *General* окна присвоения данных проекту

После импорта в проект данных по четырем пунктам, входящим в данную сессию наблюдений, открыв закладку ПО LGO **GPS-Proc**, следует убедиться, что измерения на все четыре пункта, относящиеся к сессии наблюдений в данный день, присутствуют в проекте (в данную дату напротив каждого из четырех пунктов в этой закладке есть серая полоска, соответствующая 24-часовому интервалу наблюдения).

Завершив процесс импорта ГНСС-измерений на четырех пунктах, входящих в данный сеанс (дату) наблюдений, повторите ее 4 раза для четырех других дат (сессий) наблюдений.

3. Проверка и редактирование введенных в проект данных.

1) *правильность названий пунктов* проверяется путем просмотра наименований пунктов в закладках ПО: *View/Edit*, *GPS Proc*, *Point*. В этих закладках все пункты должны иметь названия. Однако, вследствие ошибок операторов сети АБС НСО, некоторые пункты в отдельные даты наблюдений не имеют названия (у пунктов, не имеющих названия, ПО LGO вместо названия указывает прочерк (тире)).

Исправления названий делаются после уточнения причин ошибок. Если неправильно названный или неназванный пункт фактически является очередной датой наблюдения на уже существующем в проекте пункте, то выполненные на этом ошибочном пункте наблюдения переприсваиваются существующему, правильно названному пункту. Для этого нужно посмотреть на карту в закладке *View/Edit*, где такой пункт обычно расположен в нескольких метрах (в пределах точности навигационных координат) от этого же пункта в другую дату наблюдения, имеющего корректное наименование (увеличив требуемый фрагмент карты до масштаба, когда оба эти пункта не совпадают на карте). Для этого в закладке *View/Edit* нужно увеличить масштаб схемы так, чтобы совпадающие пункты географически перестали совпадать, выделить пункт, от которого передаются координаты, нажав правой кнопкой мыши вызвать КМ, в котором выбрать опцию *Re-assign Interval*, после чего появится диалоговое окно *Re-assign Interval*, рис. 2.36. В этом окне выделите все интервалы наблюдений на данной точке, внизу окна, в строке *to* выберите из списка нужный пункт, которому передаются интервалы, нажмите *OK*. После этого пункт с ошибочным названием (на рис. 2.36 это точка без названия, имеющая 2 однодневных интервала наблюдения) прекращает свое существование и исчезает из всех

трех окон (*View/Edit*, *GPS Proc*, *Point*), а у корректно названной точки (на рис. 2.36 это пункт *Severnoe*) появляется дополнительно 2 дневных интервала наблюдений, перешедших от исчезнувшей точки.

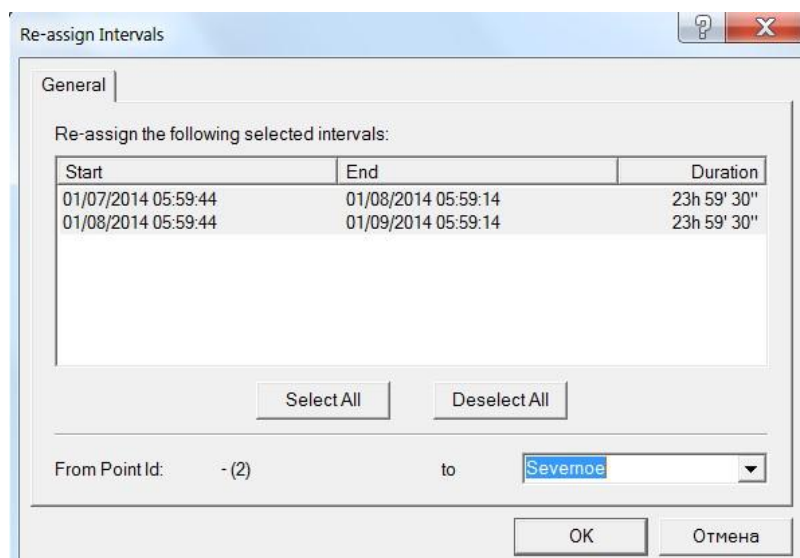


Рис. 2.36. Окно переприсвоения интервалов наблюдений

В случае ошибки в наименовании нового пункта, который отсутствует в проекте, нужно отредактировать его имя правильно, дважды щелкнув мышкой по нему и исправив его название в окне свойств точки (*Point Properties*), в строке *Point Id*;

2) введение данных калибровок антенн ГНСС-приемников осуществляется по аналогии с лабораторной работой № 1. Всего в лабораторной работе № 2 на пунктах АБС НСО используется 2 типа антенн фирмы **Leica Geosystems**. Калибровочные данные по ним приведены в исходных данных к лабораторной работе № 2, см. файл *Антенны Leica для ЛР-2*.

Ввод и редактирование корректирующей информации по антеннам осуществляется так, как это описано в п. 2 лабораторной работы № 1 (с. 59): в окне *Antenna Properties*, которое вызывается при активной закладке *Antennas* открытого проекта нажатием правой кнопкой мыши на нужную антенну, и в появившемся КМ – нажатием *Properties* (рис. 2.12). Данные по антенне вводятся в закладке *General*, в нижней половине окна свойств антенны, в блоке *Phase center offsets* (эксцентриситет фазовых центров) для каждой из частот L1 и L2 (см. рис. 2.12).

Данные по типам антенн, используемых в проекте LGO для лабораторной работы № 2, и их калибровочные данные вносятся в табл. 2.11, графы 1-4;

3) *высота установки антенн* пунктов АБС НСО прописана в RINEX-файле сырых исходных данных, известна и всегда постоянна (антенны жестко закреплены на зданиях и не перемещаются). Однако, вследствие некачественной работы операторов сети АБС НСО, в величине высоты установки антенн на станциях в отдельные дни наблюдений допускаются ошибки, заключающиеся в задании нулевой высоты антенны вместо реальной, равной величинам от 6 до 17 см.

Для проверки корректности данных по высоте установки антенны нужно войти в закладку **GPS-Proc**, в таблице в левом окне этой закладки в колонке под названием *Height Reading (высотный отсчет)* проверить, чтобы все даты наблюдений на данной станции имели одинаковую высоту установки антенны (для удобства проверки щелкнуть мышкой по заголовку колонки с названием пунктов, чтобы сортировать таблицу по названиям пунктов). Для исправления ошибок введите в те дни наблюдений, где величина *Height Reading* равна нулю, правильную величину, указанную в другие дни, где она ненулевая. Исправление высот установки антенны осуществляется в строке *Height Reading* окна **Interval Property** (*свойства интервала*) (рис. 2.37), вызываемого нажатием в закладке **GPS-Proc** на нужную (подлежащую исправлению) строку в колонке *Height Reading*.

Величины высот установки антенны на каждом пункте вносятся в табл. 2.11 (графа 5).

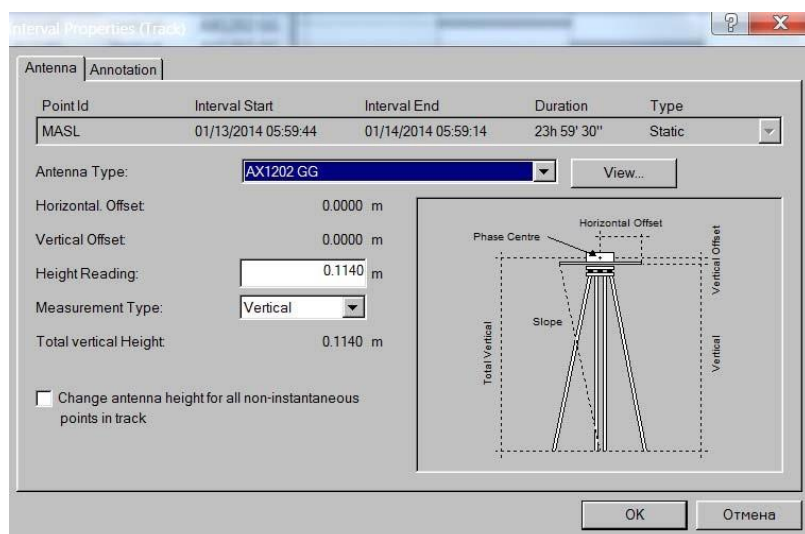


Рис. 2.37. Окно установки высоты антенны

Факты сделанных студентом исправлений в исходных данных отражаются в графе 6 табл. 2.11.

Таблица 2.11 Проверка и редактирование данных проекта

Аббревиатура пункта	Тип антенны	Эксцентриситет фазового центра антенны H (Vertical) X (North) Y (East)		Высота установки антенны (Height Reading) (м)	Внесенные исправления (названий, высот, интервалов)
		$L1$ (м)	$L2$ (м)		
1	2	3	4	5	6

4. Вычисление базовых векторов сети осуществляется примерно в той же последовательности, как выполнялся импорт ГНСС-наблюдений в проект, т. е. вычисляются отдельно измерения каждой даты (сессии) наблюдений. Однако, как обязательное условие, необходимо, чтобы первый базовый вектор осуществлял передачу геоцентрических координат от начального пункта (НП), полученного по итогам выполнения лабораторной работы № 1, а все остальные вычисляемые базовые векторы последовательно распространяли задаваемую начальным пунктом высокоточную геоцентрическую систему координат на все пункты сети.

1) ввод точных координат начального пункта сети осуществляется аналогично тому, как это делалось в лабораторной работе № 1 (п. 3, пп. 1, с. 66) для того, чтобы заменить навигационные координаты этого пункта на его точные координаты в СК ITRF-2008 на дату наблюдений, полученные в результате выполнения лабораторной работы № 1. Для этого двойным нажатием на начальный пункт в закладке *View/Edit* вызвать диалоговое окно свойств точки, закладку *General* (рис. 2.38), где в строке *Point Class* статус пункта заменить на *Control*); в строке *Point Subclass* выбрать из списка *Fixed in Position and Height*; в строке *Coordinate Type* установить тип координат *Cartesian*; а в соответствующие строки ввести исходные координаты начального пункта *XYZ*, полученные в итоге выполнения лабораторной работы № 1.

Координаты начального пункта рекомендуется вводить из лабораторной работы № 1 путем копирования и вставки триплета координат *ZYZ*, для че-

го нужно открыть проект LGO для лабораторной работы № 1, в нем, дважды щелкнув по начальному пункту сети, вызвать меню свойств точки (рис. 2.38), в котором установить тип картезианских координат и скопировать триплет координат НП, нажав кнопку *Copy Triplet* в левом нижнем углу окна; после чего следует вернуться в проект для лабораторной работы № 2, вызвать окно свойств начального пункта лабораторной работы № 2, дважды щелкнув по нему мышью, после чего, нажав кнопку *Paste Triplet* (справа от кнопки *Copy Triplet*), вставить точные координаты НП. Координаты можно вставить также путем простого копирования и вставки каждой координаты отдельно из окон свойств точки начального пункта из лабораторной работы № 1 в лабораторную работу № 2 или ввести их вручную с клавиатуры в соответствующие строки окна. После изменения координат НП на контрольные, на схеме сети в закладке *View/Edit* условный знак начального пункта изменится с полого квадрата с точкой на залитый треугольник зеленого цвета, означающий замену статуса координат пункта с навигационных на контрольные;

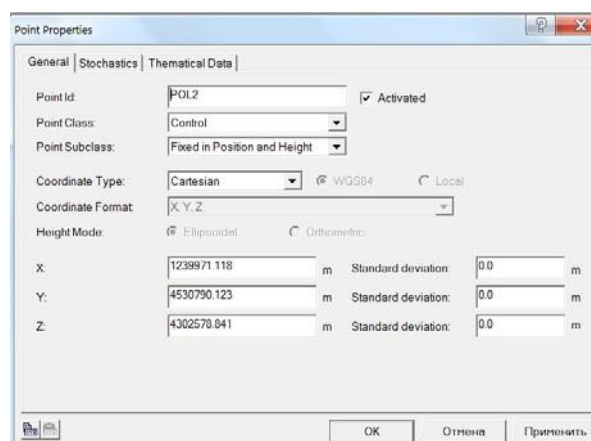


Рис. 2.38. Закладка *General* окна свойств точки

2) *установка параметров ГНСС-обработки.* Выберите ручной метод ГНСС-обработки, для чего вызовите основное КМ обработки, щелкнув правой кнопкой в правом окне закладки *GPS-Processing*, и в опции *Processing Mode* выберите *Manual*.

Для установки параметров обработки перейдите в закладку *GPS-Proc* ПО, где в панели инструментов, в блоке инструментов управления процессом вычислений, показанных на рис. 2.39, нажмите кнопку *Data processing parameters* (параметры обработки данных), (вторая справа в виде блокно-

та и ручки), вызывающую диалоговое окно *Configure Data GPSprocessing Parameters* (настройка параметров обработки), рис. 2.40.



Рис. 2.39. Блок инструментов для вычисления базовых линий

В закладке *General*, в самом низу этого диалогового окна поставьте «галку» в окошечке для включения опции *Show advanced parameters* (показ расширенных параметров), после чего к двум стандартным закладкам этого окна (*General* и *Auto. Processing*) добавятся еще 2 закладки: *Strategy* (стратегия) и *Extended Output* (расширенный вывод).

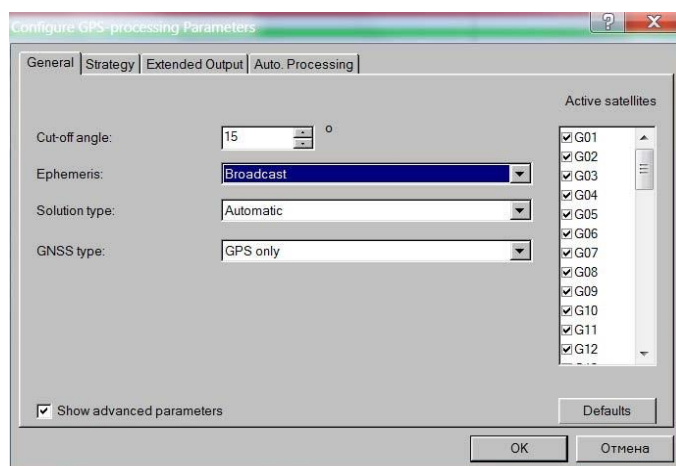


Рис. 2.40. Закладка *General* окна установки параметров обработки

В закладке *General* сделайте установки так, как это показано на рис. 2.43: *Cut-off angle* (угол отсечки спутников) – 15°, *Ephemeris* (использование эфемерид) выбрать из списка – *Broadcast* (бортовые) эфемериды. В строках *Solution Type* (тип решения) и *GNSS type* (тип ГНСС) установить *Automatic* (автоматически).

ВАЖНО: если в процессе вычислений некоторой базовой линии ПО LGO прекращает работу и закрывается, то следует установку типа используемых ГНСС-сигналов изменить на **GPS-only** (как это показано на рис. 2.40). В закладке *Strategy* сделайте установки так, как это показано на рис. 2.41. Для их установки достаточно нажать *Default* в правом нижнем углу окна. После чего установить вычисляемыми модели тропосферы и ионосферы: ***Tropospheric model*** – *Computed*, ***Ionospheric model*** – *Computed model*;

3) вычисление базовых ГНСС-векторов сети осуществляется, как сказано выше, от начального пункта сети, с последовательным распространением задаваемой им высокоточной геоцентрической системы координат на все пункты сети. При этом зависимые (тривиальные) линии не вычисляются.

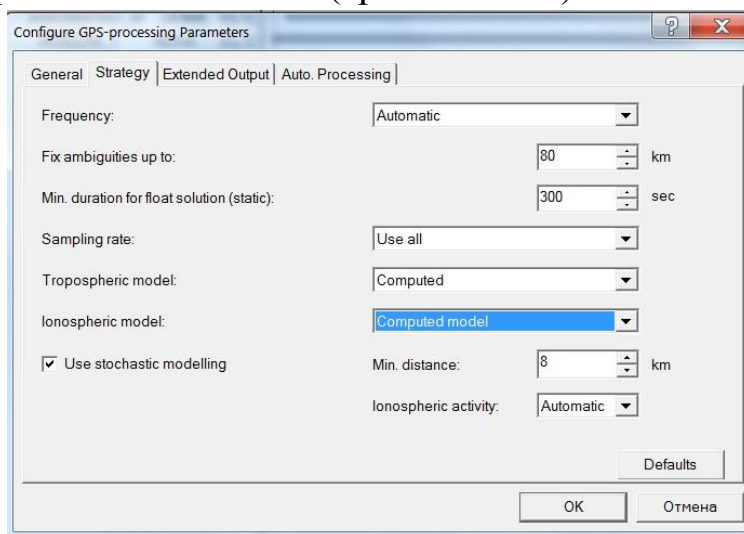


Рис. 2.41. Закладка *Strategy* окна установки параметров обработки

Алгоритм вычисления базовых векторов в лабораторной работе № 2 аналогичен алгоритму лабораторной работы № 1 (пп. 4, с. 70). Выбор пункта в качестве референсного (исходного) или роверного (определяемого) осуществляется с использованием блока инструментов управления процессом вычислений сети, показанных на рис. 2.39.

Для назначения пункта при вычислении данной базовой линии референсным (исходным) следует выбрать в этой панели кнопку в виде молоточка с красной полосой (на рис. 2.39 она вторая слева, после чего у стрелки мыши появится надпись *Reference*) и данным инструментом щелкнуть по интервалу наблюдения пункта, после чего интервал наблюдений окрасится в красный цвет (цвет референц-станции), а весь период наблюдений, совпадающий с интервалом наблюдений на заданной референц-станции, окрасится в серый цвет, означая, что данный временной интервал покрыт данными ГНСС-измерений с этой референцной станции.

Для выбора определяемого пункта в качестве роверного нужно выбрать в панели инструментов кнопку в виде молоточка с зеленой полосой (на рис. 2.39 она третья слева), после чего у стрелки мыши появится надпись *Rover*, и данным инструментом щелкнуть по интервалу наблюдения пунк-

та, после чего интервал наблюдений окрасится в зеленый цвет (цвет роверной станции).

После назначения хотя бы одного роверного пункта, совпадающего по времени наблюдений хотя бы с одной референционной станцией (попадающей в «зону временного действия» референционной станции, обозначаемой на графике серым цветом), становится активной кнопка запуска процесса вычислений в виде 2 шестеренок в панели инструментов ПО (на рис. 2.39 она самая правая). Запуск процесса вычисления осуществляется нажатием этой кнопки, после чего появляется прогрессирующая шкала, в графическом виде отображающая процесс обработки всех выбранных вами на предыдущем этапе базовых линий.

После завершения процесса обработки заданных базовых линий автоматически появляется закладка *Results*, в которой результаты обработки ГНСС-измерений приведены в виде таблицы (см. рис. 2.19), каждая строка которой соответствует вычисленной базовой линии. Строки таблицы (базовые линии), для которых получено разрешение неоднозначности (значение в столбце ***Ambiguity Status*** равно ***Yes***), автоматически выделяются (синим цветом). Для сохранения всех вычисленных линий выберите все строки этой таблицы результатов вычислений, нажав ***Ctrl+A***, после чего вызовите КМ, щелкнув правой кнопкой мыши в окне результатов, и выберите опцию *Store (сохранить)*. Критерием того, что результаты вычисления базовой линии сохранены, являются:

- наличие слова «*Yes*» в закладке *Results*, в колонке под названием *Stored Status (статус сохранения)*;

- наличие в закладке *View/Edit* красной линии со стрелкой, соединяющей базовый и референчный пункт, стрелка показывает направление передачи приращений координат (от референчной (исходной) к роверной (определяемой) точке).

Если для определяемого пункта координаты получены из нескольких вариантов с различием между ними на величину, большую, чем значение установленного в ПО допуска (7,5 см), в процессе сохранения результатов обработки появится предупреждение (рис. 2.42), нажмите ОК для продолжения сохранения. Пункты, расхождения вариантов координат которых превышают допустимые величины, выделены на схеме сети в закладке

View/Edit квадратом увеличенного размера, заштрихованным зеленым цветом.

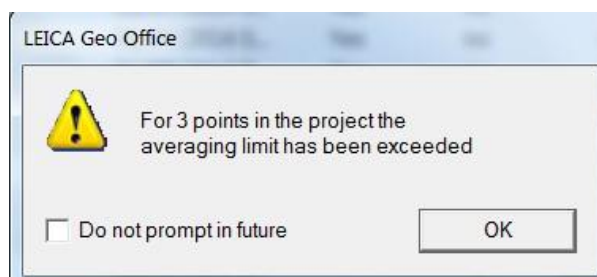


Рис. 2.42. Окно предупреждения о недопустимом расхождении координат

После сохранения результатов вычисления следует просмотреть качество вычисления координат таких пунктов, в закладке *View/Edit* дважды нажав мышкой на каждый пункт и выбрав в появившемся диалоговом окне свойств точки закладку *Mean (среднее)* (см. рис. 2.20).

В ней вычисленные базовые линии, которые по внутренним критериям ПО LGO отбракованы и не включены в вычисление средних координат, выделены треугольником с восклицательным знаком. Базовые линии, принятые в обработку, помечены «галкой» в квадратике. Все пункты, средние координаты которых получены с превышением допуска, должны быть проанализированы, и базовые линии, передающие на них координаты с недостаточной точностью, должны быть удалены и вычислены заново с устранением причин получения грубого результата.

Удаление забракованных линий можно выполнить двумя способами.

Если между двумя пунктами нужно удалить все базовые линии, вычисленные в разные дни, не выбирая из них некоторые, вычисленные в отдельные даты, то в закладке ***View/Edit*** следует выделить их, нажав левой кнопкой мыши, затем нажать кнопку ***Delete*** на клавиатуре компьютера и в появившемся диалоговом окне-запросе подтверждения нажать ***Yes*** (или ***Yes All***, если хотите удалить все линии сразу), подтвердив удаление одной или всех линий.

Для удаления некоторых забракованных линий в закладке *View/Edit* следует выделить их, нажав правой кнопкой мыши, при этом появится КМ, в котором выбрать опцию *Delete* и в появившемся затем диалоговом окне поставить «галки» в окошке напротив тех дат, которые вы хотите удалить, для подтверждения удаления нажать ОК.

При повторном вычислении забракованной линии следует постараться добиться разрешения неоднозначности (если его не было до этого). При анализе причин недопустимого расхождения координат пунктов, полученных из разных вариантов, следует:

- проверить, не нарушено ли правило последовательной передачи координат от начального пункта на все остальные пункты сети (если для некоторого пункта 1-й вариант координат будет получен по базовому вектору от пункта с точными геоцентрическими координатами (так правильно), а 2-й вариант получен по базовому вектору от пункта с навигационными координатами (что недопустимо!), то расхождения вариантов координат составят величину в несколько метров;

- попробовать увеличить допуск на длину базовой линии, при которой осуществляется попытка разрешения неоднозначности (см. рис. 2.41), закладка **Strategy** окна настройки параметров обработки, в строке **Fix Ambiguities up to** установить величину на 1-2 км больше длины линии (но для линий свыше 100 км делать это не имеет смысла). Расстояние между пунктами можно измерить на карте в закладке *View/Edit*, где, нажав правой кнопкой мыши, вызвать КМ, в котором выбрать опцию **Show Direction & Distance**, после чего в диалоговом окне измерения выбрать начальную и конечную точку измеряемой линии и считать внизу окна, наряду с прочими геометрическими величинами, искомую длину линии (**Slope Distance**);

- использовать другие рекомендации, указанные в лабораторной работе № 1 (см. пп. 4, с. 70).

В конечном итоге должны быть вычислены все базовые линии в сети. Пример вычисленной сети для варианта 23 лабораторной работы № 2, начальным пунктом которой является пункт BOLO, приведен на рис. 2.43. Схему вычисленной сети с указанием последовательности вычислений (копия схемы сети из ПО LGO) следует привести в пояснительной записке к лабораторной работе № 2.

Для 1-3 базовых линий длиной порядка 30–40 км и менее, для которых при установленных по умолчанию стандартных условиях обработки (СУО) не получено разрешение неоднозначности (если таковые имеются в сети) провести исследование по отработке навыков получения разрешения

неоднозначности (РН) с применением предоставляемого ПО LGO инструментария. Результаты занести в табл. 2.12.

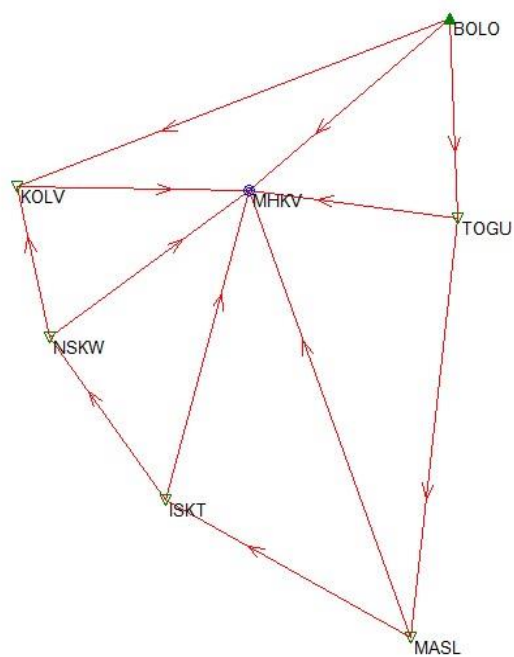


Рис. 2.43. Схема вычисленных базовых векторов геодезической сети

Таблица 2.12 Результаты исследований по разрешению неоднозначности

Базовая линия	Дата	Длина (км)	Изменение стандартных условий обработки (СУО) с целью получения РН				
			Увеличение допуска длины БЛ на РН	Увеличение маски до	Изменение направления БЛ	Номера исключенных спутников	Статус РН после изменения СУО

5. *Уравнивание сети* выполняется минимально ограниченное, для чего в сети выбрать 1 исходный пункт, расположенный в середине геодезической центральной системы.

Уравнивание СГС выполняется с использованием соответствующей закладки ПО LGO **Adjustment**. В процессе уравнивания следует последовательно запустить и выполнить 3 процедуры:

- предварительный анализ (нажать *Adjustment*→*Pre-analysis*);
- вычисление невязок замкнутых полигонов (нажать *Adjustment*→

Compute Loops);

-уравнивание сети (нажать ***Adjustment***→***Compute Network***).

По результатам выполнения каждой из этих процедур проанализировать полученные результаты.

Для просмотра результатов предварительного анализа последовательно нажмите ***Adjustment***→***Results***→***Pre-analysis***. В открывшемся отчете о предварительном анализе убедитесь, что Вы правильно сконфигурировали сеть, в которой задан 1 исходный пункт (***Number of (partly) known stations*** – 1), 6 определяемых (***Number of unknown stations*** – 6), а всего 7 (***Total*** – 7). Из отчета о предварительном анализе сети следует выяснить степень свободы сети и отразить данные о количестве исходных, определяемых величин и избыточных измерениях в пояснительной записке по лабораторной работе № 2.

Для просмотра результатов вычисления невязок замкнутых полигонов последовательно нажмите ***Adjustment***→***Result***→***Loops***. Результаты вычисления невязок всех 6 полигонов (6 образуемых в центральной системе треугольников) занести в табл. 2.13.

Таблица 2.13 Оценка качества ЛСГС по невязкам замкнутых полигонов

№ п/п	Названия вершин полигона	Длина полигона (км)	Невязка абсолютная (м)	Невязка относительная (ppm)	Знаменатель относительной ошибки (Ratio)

Для просмотра результатов уравнивания сети последовательно нажмите ***Adjustment***→***Result*** → ***Network***.

6. *Составление каталога координат* в системе координат ITRF-2008 пунктов ЛСГС является финальным этапов обработки и уравнивания геодезической сети.

Для этого нужно открыть окно проекта в закладке *Points*, используя панель инструментов (рис. 2.44), задать систему координат каталога (WGS-84, левая кнопка панели), вид координат (*Cartesian*, пространственные прямоугольные, XYZ, средняя кнопка панели), как это изображено на рис. 2.44.



Рис. 2.44. Блок инструментов для изменения СК и вида координат точек

Используя контекстное меню, появляющееся после щелчка правой кнопкой мышки по заголовку колонок, сформировать окончательный вид каталога координат, включив в него, кроме названия точек и их координат, необходимую информацию о точности координат. Опция *Columns* (колонки) из этого КМ позволяет оставить в каталоге нужные колонки (проставить напротив названия этих колонок галки), а используя кнопку *Move Down*, *Move Up* (*передвинуть вниз/вверх*), можно расположить колонки в требуемом в каталоге порядке.

Сохранение каталога координат осуществляется также из закладки *Points*, для чего в рабочем поле здесь щелчком правой кнопки мыши нужно вызвать КМ. В нем выбирается опция *Save As* (*сохранить как*), в появившемся диалоговом окне в строке *File Name* (*название файла*) задайте имя файла и путь в директорию для сохранения. В строке *Save as type* (тип сохранения) выберите (из списка) *Text (Tab delimited *.txt)*, в строке *include header* (*включая заголовки*) установите галочку, в строке *Lines to save* (*сохранить строки*) укажите *All* (*все*), если вы хотите сохранить все точки из списка координат, или *Choked* (*выбранные*), если вы хотите сохранить только те точки из списка координат, которые Вами отмечены галочкой в списке. Нажмите кнопку *Save* для сохранения каталога координат в виде, соответствующем вашим настройкам. Сохраненный в текстовом виде каталог координат следует скопировать и вставить в табл. 2.14 пояснительной записки лабораторной работы № 2.

Таблица 2.14 Каталог координат пунктов СГС в СК ITRF

№ п/п	Название пункта	X (м)	Y (м)	Z (м)	Ошибки в плане (м)	Ошибки по высоте (м)	Ошибки в плане и по высоте (м)

Составление пояснительной записки

Пояснительная записка составляется в соответствии с требованиями и рекомендациями, представленными в лабораторной работе № 1.

В пояснительной записке в обязательном порядке приводятся заполненные в настоящем учебно-методическом пособии табл. 2.9–2.13 (для удобства эти таблицы предоставляются обучающимся пустыми в формате Word), схема сети, сведения о конфигурации сети при уравнивании, а также комментарии студента по получению приведенных в них результатов и выполнению всех этапов лабораторной работы № 2.

Контрольные вопросы

1. Что такое зависимые (тривиальные) и независимые (нетривиальные) базовые вектора в спутниковой геодезической сети?

2. Объясните на примере геодезической центральной системы из 7 пунктов ГГС порядок организации сессий ГНСС-наблюдений, используя 4 ГНСС-приемника.

3. Что такое калибровочные данные антенн ГНСС-приемников? Объясните значение каждого элемента.

4. Что такое референчный и роверный пункт?

5. Объясните суть процесса вычисления базовых векторов. Что получается в результате вычисления базового вектора?

6. Объясните суть понятия «разрешение неоднозначности». В чем заключается неоднозначность фазовых спутниковых измерений?

7. Объясните значение понятий «точные» и «навигационные» эфемериды и способы их получения для обработки ГНСС-измерений.

8. Объясните значение слов при наименовании класса (точности) координат в процессе вычисления в ПО LGO: уравненные (adjusted), навигационные (navigated), «точные» (control), средние (averaged). Расположите их по иерархии точности координат: от самых грубых к самым точным.

8. Что такое невязка замкнутой фигуры (полигона) в спутниковой геодезической сети? На конкретном примере покажите значение терминов абсолютная невязка, относительная невязка, знаменатель относительной невязки.

9. Объясните цель процесса уравнивания и назовите используемый для уравнивания математический метод. Объясните разницу между свободным, минимально ограниченным и ограниченным уравниванием.

Лабораторная работа № 3 Преобразование пунктов спутниковой геодезической сети из геоцентрической в референцную систему координат

Цель работы: преобразование координат пунктов локальной спутниковой геодезической сети, вычисленной и уравненной в геоцентрической системе координат ITRF, в референцную систему координат СК-95.

Задачи работы:

- 1) создание системы координат СК-95 в ПО LGO;
- 2) вычисление параметров трансформирования из СК ITRF в СК-95;
- 3) формирование и сохранение каталога координат в СК-95; 4) оценка точности вычисления координат пунктов в СК-95; 5) составление пояснительной записки.

Краткие теоретические сведения

В итоге завершения камеральной обработки и уравнивания ГНСС измерений в развиваемой спутниковыми методами геодезической сети все ее пункты получают координаты в общеземной геоцентрической системе координат, т. е. в той же системе координат, в которой определяются координаты спутников навигационных систем.

Однако геоцентрические системы координат, в которых определяются координаты пунктов геодезических сетей, развиваемых спутниковыми методами, до настоящего времени не используются для создания топографических карт и выполнения инженерно-геодезических изысканий. Все эти работы в Российской Федерации выполняются в референцных системах координат, к которым относятся государственные и местные системы координат. Именно поэтому конечным этапом работ по созданию ГГС является переход от геоцентрических к референцным системам координат.

В ГНСС-технологиях используются следующие **общеземные СК**.

ITRF (*International Terrestrial Reference Frame*) – международная земная отсчетная основа, являющаяся в настоящее наиболее точной реализацией общеземной системы координат. Вывод *ITRF* основан на объединении координат более чем 200 станций МСВЗ и их скоростей движения, полученных из наблюдений такими средствами космической геодезии, как радиоинтерферометрия со сверхдлинной базой (РСДБ), лазерная локация Луны и искусственных спутников Земли, GPS (с 1991 г.), доплеровская орбитографическая радиопозиционная интегрированная спутниковая система DORIS (с 1994 г.) и микроволновая спутниковая система PRARE.

Система координат WGS-84 (*World Geodetic System – 84*) – мировая геодезическая система WGS-84 была разработана Военно-картографическим агентством Министерства обороны США. Начало системы WGS84 находится в центре масс Земли, ось Z направлена к условному земному полюсу (УЗП), установленному Международным бюро времени (МБВ) на эпоху 1984.0. ось X находится на пересечении плоскости опорного меридиана WGS-84 и плоскости экватора УЗП. Опорный меридиан является начальным (нулевым) меридианом, определенным МБВ на эпоху 1984.0. Ось Y дополняет систему до правой, т. е. направлена под углом 90° на восток. Начало координатной системы WGS-84 и ее оси также служат геометрическим центром и осями референц-эллипсоида WGS-84. Этот эллипсоид является эллипсоидом вращения. Его параметры почти идентичны параметрам международного эллипсоида GRS80.

Система координат ПЗ-90 (Параметры Земли 1990 г.) была определена Топографической службой Вооруженных сил Российской Федерации. СК ПЗ-90 получена по результатам почти 30 миллионов фотографических, радиодальномерных, доплеровских, лазерных и альтиметрических измерений спутника Гео-ИК с привлечением радиотехнических и лазерных измерений дальностей до спутников систем ГЛОНАСС и «Эталон». Начало системы расположено в центре масс Земли. Ось Z направлена к среднему северному полюсу на среднюю эпоху 1900-1905 г.г. Ось X лежит в плоскости земного экватора эпохи 1900–1905 гг., и плоскость (XOZ) определяет положение нульпункта принятой системы счета долгот. Ось Y дополняет систему координат до правой. Геодезические координаты B , L , H относятся к общему земному эллипсоиду ПЗ-90.

В настоящее время путем уточнения параметров ПЗ-90 созданы новые модификации российской геоцентрической системы координат: ПЗ90.02, а с 1.01.2017 г. в РФ вводится новая геоцентрическая система координат ПЗ-90.11.

Референчные системы координат связаны с локальными референцэллипсоидами, центры которых не совпадают с центром масс Земли. Поэтому эти системы иногда называют еще *квазигеоцентрическими*.

В настоящее время в России используются государственные референчные системы координат – **СК-42** и **СК-95**.

Система 1942 г. (СК-42) была основной системой координат, использовавшейся в Советском Союзе и до 1995 г. – в Российской Федерации. Она является в настоящее время одной из двух референчных систем координат, принятых для использования в РФ.

По теоретическому определению начало системы координат 1942 г. (СК-42) близко к центру масс Земли, но не совпадает с ним примерно на 200 м. Ось Z параллельна оси Z общеземной системы, ось X определяется положением нульпункта принятой системы счета долгот, ось Y дополняет систему до правой.

Центр референц-эллипсоида СК-42 совпадает с началом прямоугольной системы координат (X_{42}, Y_{42}, Z_{42}) , ось вращения совпадает с осью Z_{42} , плоскость начального меридиана совпадает с плоскостью $(XOZ)_{42}$.

Линейные и угловые элементы ориентирования задают координаты центра референц-эллипсоида Красовского и ориентировку осей системы 1942 г. в общеземной системе координат. Система была реализована на территории страны системой 87 уравненных полигонов триангуляции 1-го класса, полностью покрывавших Европейскую часть страны и распространявшихся на восток в виде узкой цепочки полигонов. Сеть триангуляции уравнивалась отдельными блоками. На границе блоков результаты предыдущего уравнивания принимались за безошибочные и таким образом координаты постепенно передавались все далее на восток. В каркас полигонов 1-го класса вставлялась заполняющая сеть триангуляции 2-го класса. Такой принцип построения сети привел к неизбежным деформациям сети.

В 1991 г. построенная на территорию страны астрономо-геодезическая сеть (АГС) из 164 000 пунктов 1-го и 2-го классов была уравнена как единое целое. Результаты уравнивания подтвердили наличие значительных деформаций в сети, достигавших на севере и на востоке 20–30 м. Локальные деформации на границах блоков иногда достигали 10 м. Точность взаимного положения пунктов в уравненной сети характеризовалась средними квадратическими ошибками в 6, 20, 60 и 200 см при расстояниях соответственно в 10, 100, 1000 и 10000 км.

Результаты завершеного в 1995 г. совместного уравнивания всей геодезической сети стали основой для ввода в Российской Федерации новой **системы геодезических координат 1995 г. (СК-95).**

Оси системы СК-95 параллельны осям общеземной системы ПЗ-90, т. е. связь между этими системами устанавливается только тремя параметрами переноса. Другое условие реализации системы заключалось в неизменности геодезических координат пункта Пулково, т. е. координаты начала геодезической сети в системах СК-42 и СК-95 были приняты одинаковыми. Это нестандартное решение привело к тому, что поправки в координаты пунктов на Европейской части России и на юге Сибири оказались настолько минимальными, что не потребовалось переиздание карт до масштаба 1:10 000. А для районов северо-востока страны карты этого масштаба практически отсутствуют.

Точность привязки ее к центру масс Земли характеризуется СКО порядка 1 м. Координаты пунктов ГГС в системе СК-95 имеют одинаковую точность для всей сети. Точность взаимного положения для смежных пунктов составляет 3–5 см, для пунктов, удаленных на 200–300 км, – 20–30 см, для 500 км и более км ошибка возрастает до 50–80 см. За отсчетную поверхность принят референц-эллипсоид Красовского.

Большинство референцных государственных или местных систем координат имеют характер плоских проекционных СК, т. е. СК, построенных по методу проецирования *с поверхности относимости* (в большинстве случаев это *эллипсоид вращения*) на некоторую *поверхность проекции* (во многих, но не во всех случаях это плоскость) по некоторому математическому закону (математический закон картографической проекции, или *проекция*). В системе координат та *поверхность относимости*, с которой проецируются данные (*эллипсоид*), с ее характеристиками и ориентировкой в теле Земли, называется системой исходных дат (в английском варианте **Datum**). Поверхность проекции и математический закон проекции описываются параметрами *проекции* (**Projection**). Таким образом, система координат создается заданием эллипсоида с его параметрами и заданием проекции эллипсоида на плоскость с ее параметрами.

В государственной системе координат СК-42 и СК-95 используется референц-эллипсоид Красовского, длина его большой полуоси составляет 6 378 245 (м), полярное сжатие – 1/298,3.

В СК-42 (СК-95) используется конформная поперечно-цилиндрическая проекция Гаусса – Крюгера, которая получается проецированием земного

эллипсоида на поверхность цилиндра с последующим разворачиванием на плоскость.

Для перехода из одной системы координат в другую существует 2 типа преобразований:

-преобразование координат с использованием официально опубликованных параметров трансформирования, называемых также глобальными методами преобразования, поскольку они задают алгоритм перехода между системами координат в целом, на всем пространстве действия этих СК, например, между WGS-84 и СК-95, ITRF и СК-95, ПЗ-90 и WGS-84 и т. д.;

-преобразование координат с использованием параметров трансформирования, вычисляемых при помощи ограниченного набора расположенных на локальной территории опорных пунктов, координаты которых известны в обеих этих СК, называемых также локальными методами преобразования, поскольку они задают алгоритм пересчета координат, действующий только в отношении локальной территории, на которой расположены опорные пункты.

При этом различают трехмерные, двухмерные и одномерные преобразования.

Классическими трехмерными методами преобразования координат, применяемыми преимущественно для глобальных преобразований между пространственными трехмерными прямоугольными или эллипсоидальными (геодезическими) системами координат являются соответственно метод Гельмерта и метод Молоденского.

Преобразование из одной пространственной (трехмерной) системы прямоугольных координат X, Y, Z (СК-1) в другую пространственную систему прямоугольных координат (СК-2) по методу *Гельмерта* заключается в осуществлении трех операций:

1)перенос начала СК1 в начало СК2 путем смещения по осям XYZ на величины T_x, T_y, T_z , соответствующие разности координат начал СК 1 и 2 (или, что аналогично, на величину значений координат конечной системы координат СК-2 в исходной СК-1);

2)поворот вокруг каждой из осей координат на величины $\alpha_x, \alpha_y, \alpha_z$;

3)масштабирование (введение множителя k , характеризующего изменение масштаба конечной СК-2 по отношению к масштабу начальной СК-1).

Таким образом, преобразование Гельмерта задается 7 вышеуказанными параметрами, из-за чего его нередко называют 7-параметрическим преобразованием, или Евклидовым преобразованием подобия, а входящие в него параметры трансформирования – параметрами Гельмерта.

где $[X, Y, Z]_{СК1}$ – координаты точки в исходной системе координат; где $[X, Y, Z]_{СК2}$ – координаты точки в конечной системе координат; T_x, T_y, T_z – величины смещения начала системы координат 1 по соответствующим осям в начало системы координат СК2;

$\alpha_x, \alpha_y, \alpha_z$ – поворот вокруг каждой из осей системы координат;

масштабный коэффициент, учитывающий разномасштабность этих СК, его значение обычно $<10^{-6}$ и дается в единицах 6-го знака после запятой.

Метод **Молоденского** используется для преобразования между двумя пространственными системами геодезических координат B, L, H (исключая необходимость перехода к прямоугольным координатам XYZ).

Для преобразования координат по методу Молоденского используется формула [2]:

$$HBLCK2CK2CK2==HBLCK1CK1CK1+++DDDLBH\alpha_x\alpha_y\alpha_z\mu, \quad (2.6)$$

где ρ –

$$D = B \quad [-T_x \sin B \cos L \quad T_y \sin B \sin L \quad T_z \cos B +$$

$M H +$

$$+ D a N e^{(2 \sin B \cos L) B + N e^{N D^2} \alpha_x \alpha_y \alpha_z \mu^2 + 1} \div \phi \div \ddot{\phi} \div \sin B \cos$$

$$] B + a^2$$

$$+ (1 - e^2 \cos^2 L) (B \omega_x \sin L - \omega_y \cos L) L - \rho \mu \alpha_x e^2 \sin B \cos L; B$$

ρ –

$$DL = \quad (-T_x \sin L \quad T_y \cos L) L -$$

$$(N H +) \cos B$$

$$- \operatorname{tg} (1 B - e^2) (\omega_x \cos L + \omega_y \sin L) L + \omega_z;$$

$$DH T = x \cos B \cos L \quad T + y \cos B \sin L \quad T + z \sin B - a^E D \alpha^E +$$

$$N$$

$$+ D^e N_{E2} \sin^2 B + e N_{E2}^2 \sin B \cos B \alpha_x \alpha_y \alpha_z \mu^2 \omega_x \rho \alpha_x \sin L - \omega_y \rho \alpha_y \cos L$$

$$\cos L \div \ddot{\phi} \div \phi \ddot{\phi} + \quad 2$$

$$+ \mu (N H e + - E^2 \sin^2 B).$$

Здесь

$$D = aE \quad (aE)_{СК2} - (aE)_{СК1},$$

$$D = eE2 \quad (eE2)_{СК2} - (eE2)_{СК1},$$

$$a$$

$$N^{\pm} \quad 2 \quad 2 \quad ;$$

$$1 - e \sin B$$

Параметры Гельмерта для глобальных преобразований между некоторыми системами координат, применяемыми на территории Российской Федерации, установлены соответствующим стандартом РФ [7] и приведены в табл. 2.15.

Таблица 2.15 Параметры преобразования между системами координат

Параметр	СК-42 в ПЗ-90.02	СК-95 в ПЗ-90.02	ПЗ-90.02 в WGS-84
T_X	23,93	24,83	-0,36
T_Y	-141,03	-130,97	-0,08
T_Z	-79,98	-81,74	0,18
$?_X$	0	0	0
$?_Y$	-0,35"	0	0
$?_Z$	-0,79"	-0,13"	0
$?$	$-0,22 \cdot 10^{-6}$	$-0,022 \cdot 10^{-6}$	0

Для определения (вычисления) параметров трансформирования между двумя пространственными СК по вышеуказанным классическим трехмерным методам необходимо наличие координат не менее 3 пунктов в обеих этих системах координат.

Двухмерное трансформирование применяется для преобразования между двумя плоскими прямоугольными системами координат, при этом используются четыре параметра преобразования, также называемые параметрами Гельмерта для двумерного преобразования [3]:

X_0, Y_0 – координаты конечной системы координат в исходной СК (или, что аналогично, смещение начала координат от начальной к конечной СК); α – угол поворота осей конечной СК относительно начальной СК; m – масштабный коэффициент, характеризующий разномасштабность этих двух СК.

Для вычисления координат X_1, Y_1 в конечной СК используются формулы [3]:

$$X_1 = X_0 + m \cdot X \cdot \cos \alpha - m \cdot Y \cdot \sin \alpha;$$

$$(2.7) \quad Y_1 = Y_0 + m \cdot X \cdot \sin \alpha + m \cdot Y \cdot \cos \alpha.$$

Для определения (вычисления) параметров трансформирования между двумя плоскими прямоугольными СК классическим двухмерным методом необходимо наличие координат не менее двух пунктов в обеих этих системах координат.

Одномерное трансформирование (преобразование одной координаты в другую подобную координату) с использованием пунктов, координаты которых известны в обеих системах, между которыми осуществляется переход, осуществляется в практике спутниковой геодезии преимущественно в виде трансформирования высот между геодезическими (эллипсоидальными) и нормальными высотами.

Как указано выше, получаемые из ГНСС-наблюдений геодезические (эллипсоидальные) высоты, измеряемые от поверхности общеземного эллипсоида, не могут быть использованы в практической геодезической деятельности, для этого обычно нужны высоты от уровня моря, в принятой в России Балтийской системе нормальных высот 1977 г. (БСВ-77). Связь этих высот с геодезическими высотами в некоторой точке описывается известным соотношением:

$$H - H' = -\zeta, \quad (2.8)$$

где H' – нормальная высота пункта (над поверхностью квазигеоида); ζ – высота квазигеоида над эллипсоидом.

Таким образом, для определения нормальных высот из ГНСС-измерений необходимо включать в развиваемую геодезическую сеть пункты с нормальными высотами H' , полученными методами геометрического нивелирования в используемой в РФ государственной Балтийской системе высот 1977 г. (БСВ-77). По опорным пунктам, имеющим геодезические высоты H (из ГНСС-измерений) и нормальные высоты H' (в БСВ-77), различными методами интерполирования вычисляются параметры одномерного трансформирования (вычисляется локальное поле поправок) для перехода от геодезических к нормальным высотам. Чем большее количество опорных пунктов с известными в БСВ-77 нормальными высотами будет включено в развиваемую спутниковыми методами геодезическую сеть, и чем

более равномерно они будут размещены по участку работ, тем более точно будет построено трансформационное поле (поле поправок) для перехода от геодезических к нормальным высотам, и тем точнее будут вычислены нормальные высоты определяемых пунктов.

В программном обеспечении Leica Geo Office реализованы следующие алгоритмы вычисления параметров трансформирования между системами координат, а также последующего их применения для взаимного преобразования координат, краткое описание которых приведено ниже:

- **Classical 3D** (классический трехмерный метод);
- **Classical 2D** (классический двухмерный метод);
- **One Step** (одношаговый);
- **Two Step** (двухшаговый);
- **Interpolation** (интерполяционный);
- **Stepwise** (поэтапный).

Классический трехмерный метод (Classical 3D) реализован в ПО LGO в двух модификациях вычисления 7-параметрического преобразования: Бурша – Вольф (Bursa – Wolf) и Молоденский – Бадекас (Molodensky – Badekas). Разница модификаций заключается в том, что в преобразовании Бурша – Вольф центром вращения является начало исходной системы координат А и используется 7 вышеописанных параметров преобразования Гельмерта, а в модификации Молоденский – Бадекас центром вращения является «центр тяжести» (точка на участке работ, имеющая средние координаты) опорных пунктов в исходной системе координат А, поэтому в данной модификации классического трехмерного преобразования к 7 параметрам Гельмерта добавляются еще 3 параметра (координаты центра вращения X_0, Y_0, Z_0).

Как сказано выше, для использования данного метода вычисления параметров трансформирования необходимо наличие не менее 3 опорных пунктов, координаты которых известны в обеих СК, однако в этом случае параметры будут вычислены бесконтрольно и без оценки точности. Для получения возможности контроля корректности вычисленных параметров преобразования и оценки точности на практике следует использовать не менее 4 опорных пунктов.

Преимущество метода. Он определяет параметры трансформирования, соответствующие точности ГНСС-измерений, и может быть применен для глобальных преобразований на любой территории, где доступны координаты опорных пунктов с точностью, соответствующей точности ГНСС-измерений (включая высоту).

Недостатки метода:

- требуется знание локальной системы координат (эллипсоид, проекция);

- для получения точных пространственных координат в локальной (референцной) СК, в том числе геодезической (эллипсоидальной) высоты требуется знание точных высот квазигеоида на опорных точках, которые в большинстве случаев не известны.

Данный метод в лабораторных геодезических работах следует применять в случаях, если планируется определять параметры преобразования между двумя пространственными однородными (гомогенными) системами координат, например между СК ITRF и WGS-84, ПЗ-90 и ITRF/WGS84 и т. д. Для определения параметров трансформирования по этому методу между геоцентрическими и референчными СК необходимо, чтобы в референцной СК с высокой точностью были известны пространственные прямоугольные или геодезические координаты, или известны все необходимые для их вычисления данные (точные значения как нормальных высот $H^?$, так и высот квазигеоида над эллипсоидом ?).

Классический двумерный метод (Classical 2D) используется в ПО LGO для определения параметров трансформирования плановых координат (x, y) между двумя плоскими прямоугольными системами координат, параметры которых (эллипсоид, проекция) известны. Вычисление параметров высотного преобразования в данном методе не осуществляется.

Этот метод преобразования координат в ПО LGO может быть использован для определения параметров трансформирования между двумя референчными СК (например, между СК-95, СК-42, СК-63, местными системами координат). Применение вычисленных параметров данного преобразования в ПО LGO возможно только на этапе экспорта файла референчных (плоских прямоугольных) координат из проекта в ASCII-файл. Система координат, созданная с использованием данного метода трансформирования, не может быть применена к проекту.

Одношаговый метод (One Step) разделяет определение параметров плановой и высотной трансформации. Для плановой трансформации координаты системы координат А (обычно это WGS-84) проецируются с применением временной проекции Трансферс Меркатора (англоязычное название применяемой в РФ проекции Гаусса – Крюгера), а затем вычисляются 4 параметра связи (смещение, вращение и масштабный коэффициент) временной проекции и реальной проекции локальных (референчных) координат. В зависимости от количества опорных точек (ОТ) по данному методу вычисляются только смещения по X , Y (если $OT = 1$); смещения по X , Y , поворот и масштаб (если $OT = 2$); смещения по X , Y , поворот, масштаб и выполняется оценка точности подбора параметров (если $OT > 2$).

Высотная трансформация осуществляется путем одномерной аппроксимации поправок между геодезическими и нормальными высотами на опорных точках. При этом если опорная точка только одна, то в качестве одной постоянной поправки на всем участке работ используется разность геодезической и нормальной высоты, вычисленной на опорной точке; если их две – средняя из поправок на двух опорных пунктах; если их три – то строится плоскость, проходящая через эти 3 опорных точки; если более трех, то строится средняя из всех поправок на опорных пунктах плоскость.

Преимущество метода. Параметры трансформирования могут быть вычислены с минимальным набором исходной информации и данных: не требуется знание системы координат, проекции и эллипсоида для набора точек в локальной системе координат и количество опорных точек может быть минимальным.

Недостатки метода. Применение метода с использованием только одной или двух опорных точек возможно с большой осторожностью, вычисленные таким образом параметры будут корректны только вблизи опорных точек. В общем случае район действия вычисленных параметров следует считать ограниченным площадью 10 кв. км при использовании четырех опорных точек [17].

Этот метод для лабораторных целей рекомендуется использовать в крайнем случае, когда для набора точек в референчной СК, использованных в качестве опорных, неизвестна система координат (условная СК, местная СК, не имеющая связи с государственной СК, утрачены параметры связи МСК с ГСК и т. д.). Применение метода возможно с осторожностью, на

небольшой по площади территории (менее 10 кв. км), желательно с выполнением контроля сделанных по данному методу преобразования координат другими независимыми способами.

Двухшаговый метод (Two Step). В этом методе трансформирования определение параметров плановой и высотной трансформации выполняется раздельно.

Для определения параметров трансформирования в плане координаты опорных точек в СК WGS-84, определенные из обработки ГНССизмерений, предварительно преобразуются по классическому 3D-методу для получения пространственных прямоугольных (картезианских) координат в референцной СК, которые затем с использованием эллипсоида и параметров проекции локальной (референцной) СК перевычисляются в референцную СК. Затем между полученными таким образом «псевдореференчными» (полученными от WGS-84) координатами и реальными (эталонными) координатами опорных точек (полученными из каталога координат) в референцной СК с использованием классического 2D-метода вычисляются параметры преобразования (смещение по двум осям, поворот и масштабный коэффициент) от псевдореференчных к реально референчным координатам.

В зависимости от количества опорных точек данный метод работает так: наличие одной опорной точки ($OT = 1$) – вычисляется классическим 2D-методом смещения по X , Y ; $OT = 2$ – смещения по X , Y , поворот и масштаб; $OT > 2$ – смещения по X , Y , поворот, масштаб, а также выполняется оценка точности подбора параметров.

Высотное трансформирование в этом методе по аналогии с методом **One Step** осуществляется путем одномерной аппроксимации, способ аппроксимации в зависимости от количества опорных высотных точек аналогичен применяемому в методе **One Step**.

Преимущества метода:

- так как высотная и плановая трансформации осуществляются раздельно, в качестве опорных точек могут использоваться только плановые и только высотные опорные точки, которые могут не совпадать;

- так как в методе учитываются искажения проекции, он может быть использован для большей, чем одношаговый метод, площади;

-ошибки высот опорных точек не влияют на точность планового трансформирования, и в случае недостаточной точности или отсутствия высотных опорных точек может быть осуществлена только плановая трансформация, без высотной;

-параметры трансформирования могут быть определены даже по одной опорной точке.

Недостатки метода. Этот метод требует знания параметров СК (эллипсоида и проекции) для координат опорных точек в референцной СК.

В практической деятельности этот метод рекомендуется использовать, как и одношаговый метод, в крайнем случае и с большой осторожностью. Являясь усовершенствованным (за счет введения параметров проекции) одношаговым методом, по сравнению с методом **One Step**, он может быть применен на участке больших размеров.

Метод интерполяции (Interpolation) определяет параметры трансформирования между геоцентрической и референцной системами координат, основываясь на модели аффинных преобразований, которая использует алгоритм коллокации для оценки и учета систематических ошибок. Суть метода заключается в подгонке путем сжатия и (или) растяжения геоцентрических (WGS-84) координат для подгонки их к референчным (локальным) координатам опорных точек. Плановая и высотная трансформация в этом методе разделены.

Применяемый в данном методе алгоритм трансформирования можно рассматривать в зависимости от подлежащей решению задачи и как преимущество, и как недостаток.

В общем случае координаты опорных точек в геоцентрической (WGS-84) СК более точные или, выражаясь математическим языком, более гомогенные (однородные), поэтому их подгонка под менее точные (менее гомогенные) локальные референчные координаты приводит к искажению и загроблению результатов от уровня точности ГНСС-измерений до уровня точности локальных систем координат. Это можно считать недостатком метода.

В то же время, если практическая задача требует максимально сохранить координаты опорных точек в локальной (референцной) СК и необходимо полученные с помощью ГНСС-измерений данные подогнать под суще-

ствующую локальную геодезическую сеть, то с помощью этого метода такую задачу можно решить.

Преимущества метода:

- ошибки высот опорных точек не влияют на точность планового трансформирования;

- не требуется знание системы координат, проекции и эллипсоида для набора точек в локальной системе координат;

- точки, используемые для определения параметров планового и высотного трансформирования, могут не совпадать.

Недостатки метода. Из-за неучета искажений проекции и изменения масштаба существует ограничение на размер участка работ, на котором можно применять вычисленные параметры трансформирования, практически площадь этого участка не должна превышать 10–15 кв. км [17].

В производственной деятельности данный метод может быть применен в тех случаях, когда требуется сохранить неизменной локальную (местную) систему координат, действующую на ограниченной территории.

Поэтапный метод трансформирования (Stepwise) является эффективной комбинацией классического трехмерного (3D) и интерполяционного методов преобразования координат, в котором плановая и высотная составляющая процесса трансформирования координат выделены в отдельные компоненты. Здесь классический 3D-метод (в модификации Молоденского – Бадекаса (Molodensky – Badekas)) используется для трансформирования плановых координат, а метод интерполяции – для преобразования высот. Метод может быть применен при наличии минимального набора из 3 опорных точек, однако при этом параметры трансформирования будут вычислены бесконтрольно и без оценки точности преобразования. Поэтому в практической деятельности при использовании данного метода рекомендуется иметь не менее 4 опорных точек в системе координат, параметры которой (эллипсоид и проекция) известны. В лабораторной работе № 3 используется также 4 опорных точки.

В целом метод работает следующим образом.

- 1.Вычисляется «центр тяжести» опорных точек (определяется точка, имеющая средние координаты опорных точек) в СК WGS-84.

- 2.Вычисляются смещения по осям координат между WGS-84 и локальным референц-эллипсоидом.

3. Локальная картографическая проекция применяется к координатам опорных точек, полученным в СК WGS-84, и вычисляются их «псевдореференцные» координаты.

4. Определяются параметры 2D-трансформирования между «псевдореференцными» (полученными от WGS-84) координатами и реальными (эталонными) координатами опорных точек (смещение по двум осям, поворот и масштабный коэффициент). Отличием применяемого в данном методе 2D-трансформирования от классического заключается в том, что для полученных согласно п. 3 координат вычисляются средние координаты X_0 , Y_0 , назначаемые центром вращения (Rotation origin), вокруг которого производится поворот осей координат на величину угла поворота между двумя плоскими СК.

5. Определяются параметры высотного трансформирования.

В относительно плоскоравнинной местности, при наличии достаточного количества высотных опорных точек, метод дает хорошие результаты высотной трансформации на относительно больших территориях. Чем больше высотных точек будет включено в вычисления, тем более точно параметры высотного трансформирования будут определены. В горных и иных районах, где предполагаются экстремально высокие изменения высот квазигеоида (ондуляции квазигеоида), для сохранения точности высотного трансформирования следует ограничить территорию действия вычисленных параметров трансформирования.

Следует при этом иметь в виду, что ондуляции геоида не влияют на точность трансформирования плановых координат.

Преимущества метода:

- ошибки высот опорных точек не влияют на точность планового трансформирования;

- точки, используемые для определения параметров планового и высотного трансформирования, могут быть различными;

- высотное трансформирование может обеспечить достаточно высокую точность без знания точных значений высот квазигеоида в районе работ, поскольку высоты квазигеоида над эллипсоидом изменяются относительно плавно и не содержит неожиданных резких изменений. Чем больше высотных точек будет включено в вычисления, тем более точно параметры высотного трансформирования будут определены;

-использование классического 3D-метода для трансформирования плановых координат позволяет существенно увеличить территорию действия вычисленных параметров (по сравнению с методом интерполирования), ограничивающим фактором в смысле территории в этом методе является только точность высотного трансформирования;

Недостаток метода – требуется знание параметров локальной системы координат (эллипсоид, проекция) для набора координат опорных точек в этой СК.

Метод поэтапного трансформирования (Stepwise) при использовании ПО LGO в практической и производственной деятельности рекомендуется применять в качестве основного для определения параметров трансформирования между геоцентрическими (ITRF, WGS-84, ПЗ-90, ПЗ-90.02, ПЗ-90.11) и референсными (СК-42, СК-95, СК-63, ГСК-2011, МСК) системами координат, параметры которых в большинстве случаев известны. Для решения аналогичной задачи в лабораторной работе № 3 также применяется этот метод.

Переход от геоцентрических СК, в которых вычисляются координаты пунктов из ГНСС-измерений (в лабораторной работе № 1 и лабораторной работе № 2 это ITRF) к референсным системам координат (в лабораторной работе № 3 это СК-95) осуществляется путем определения параметров преобразования, вычисляемых на основании пар не менее трех пунктов, имеющих координаты в обеих системах координат (ITRF и СК-95). Именно для этих целей в процессе полевых геодезических работ ГНСС-измерения выполняют не только на новых, определяемых пунктах, но и на пунктах ГГС, называемых опорными, координаты которых в референционной государственной системе координат (СК-95) уже известны. При этом количество таких опорных пунктов должно быть не 3, поскольку в этом случае параметры связи двух систем координат вычисляются без контроля и без оценки точности, а не менее, чем 4.

Принципы расположения опорных пунктов в развиваемой спутниковыми методами ГГС:

- они должны располагаться равномерно в сети;
- линия, соединяющая крайние опорные пункты сети, должна, по возможности, охватывать все пункты сети. Выход пунктов за эту линию не должен превышать 3–5 км;

-расстояния между плановыми опорными пунктами (у которых точно известны только координаты) не должны превышать 20–25 км;

-расстояние между опорными высотными пунктами (у которых точно известны высоты) зависит от степени аномальности квазигеоида в районе работ и в общем случае не должно превышать 10–15 км, а в горных районах – 5 км.

Вычислив параметры связи между ITRF и СК-95 по общим пунктам, их применяют для преобразования (трансформирования) координат остальных пунктов сети из геоцентрических СК в референцные СК.

И именно эта задача – преобразование координат пунктов геодезической сети, обработанной и уравненной в ЛР-2, из СК ITRF в СК-95, – является целью выполнения лабораторной работы № 3.

Исходные данные, используемое программное обеспечение и оборудование:

-координаты 7 пунктов спутниковой геодезической сети (СГС) в геоцентрической системе координат ITRF, полученные в результате выполнения лабораторной работы № 2;

-каталог координат опорных 4 пунктов локальной спутниковой геодезической сети в референцной государственной системе координат СК-95*;

-программное обеспечение Leica Geo Office, версия 5.0;

-компьютер с операционной системой Windows и со стандартным пакетом офисных программ.

Примечание:

* Фактически в качестве координат пунктов СГС в государственной (референцной) системе координат СК-95 в данной лабораторной работе № 3 используются не истинные координаты в СК-95, а условные координаты, имитирующие СК-95. Эти координаты отличаются от истинных координат в СК-95 на случайные величины, находящиеся в пределах 200–300 м. Таким образом, эти условные координаты с методической точки зрения дают возможность пользоваться ими полноценно для выполнения лабораторной работы № 3 как истинными координатами в СК-95, однако загромождение условных координат по отношению к истинным СК-95 координатам на случайные величины порядка 200–300 м позволяет использовать их в учебном процессе без режимных ограничений.

Порядок выполнения работы

1. Создание системы координат СК-95 в ПО LGO.

Как указано в кратких теоретических сведениях к лабораторной работе № 3, система координат создается заданием эллипсоида с его параметрами и заданием проекции эллипсоида на плоскость с ее параметрами.

1) *задание эллипсоида* в базе данных ПО LGO осуществляется последовательным нажатием в соответствующих закладках клавиш **Management** (в левой панели главного рабочего окна ПО) → **Coordinate Systems** → **Ellipsoids** (папка со знаком + в левой панели появившегося окна) → вызвать нажатием правой кнопки мыши на папку **Ellipsoids** контекстное меню и в нем выбрать **New**, после чего ввести в соответствующие строки появившегося окна данные по эллипсоиду Красовского, как это показано на рис. 2.45. Нажать ОК.

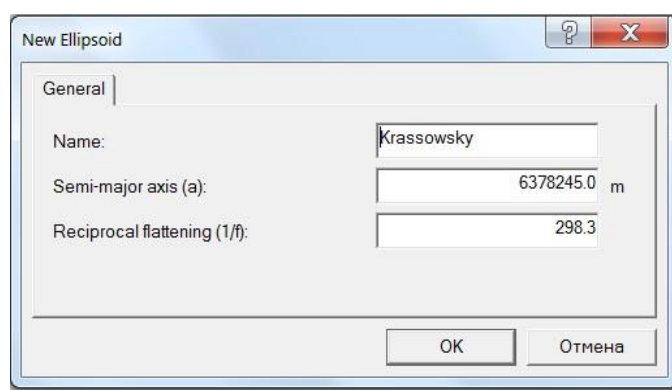


Рис. 2.45. Окно для задания нового эллипсоида

Данные созданного в базе данных ПО референц-эллипсоида Красовского занести в табл. 2.16;

Таблица 2.16 Параметры эллипсоида Красовского

Название эллипсоида	Большая полуось (м)	Полярное сжатие

2) *задание проекции* для каждой 6-градусной зоны СК-95 осуществляется последовательным нажатием в соответствующих закладках ПО LGO клавиш **Management** (в левой панели главного рабочего окна ПО) → **Coordinate Systems** → вызвать нажатием правой кнопки мыши на папку **Projections** контекстное меню и в нем выбрать **New**, после чего ввести в

соответствующие строки появившегося окна (рис. 2.46) данные по проекции **TM** (*Trasfers Merkator*, используемая в РФ проекция Гаусса – Крюгера в международной классификации относится к общему классу проекций **TM**), как это показано на рис. 2.46. По завершении нажать ОК.

The image shows a 'Projection properties' dialog box with the following fields and values:

Field	Value	Unit
Name	P_42_14	
Type	TM	
False Northing	0.0	m
False Easting	14500000.0	m
Latitude of Origin	0° 0' 0.00000"	N
Central Meridian	81° 0' 0.00000"	E
Zone Width	6° 0' 0.0"	
Scale Factor at Origin	1.0	
Last Modified	02/08/2013 09:29:16	

Рис. 2.46. Окно для задания новой проекции

Указанные на рис. 2.46 параметры проекции означают следующее:

False Nothing – смещение начала координат СК на Север (для СК-95= 0);

False Easting – смещение начала координат на Восток (для СК-95 вычисляется по формуле $(N \cdot 10^6 + 500\,000)$ м, где N – номер зоны). Например, для 14-й 6-градусной зоны в СК-95 **False Easting** составит 14 500 000 м;

Latitude of Original – широта начала СК (для СК-95 = 0);

Central Meridian – осевой меридиан зоны (для СК-95 вычисляется по формуле $N \cdot 6 - 3$, где N – номер зоны);

Zone Width – ширина зоны (в СК-95 = 6°);

Scale factor of Original – масштабный коэффициент (в СК-95 = 1,0).

При присвоении проекциям имени для удобства дальнейшей работы следует придерживаться некоторого правила (шаблона), как это показано на рис. 2.46, например, в названии *P_42_14* буква *P* означает проекция (*Projection*) цифра 42 означает СК-42 (или СК-95, проекции у них идентичные), цифра 14 означает 6-градусную координатную зону № 14.

Аналогично создаются проекции для зон, покрывающих Новосибирскую область (всего НСО покрывается тремя 6-градусными координатными зонами: № 13, 14 и 15). Номер зоны, для которой требуется создать студенту в своем варианте проекцию и затем систему координат, определяется по ординате координат исходных пунктов, которые начинаются с номера зоны.

Данные созданной проекции занести в табл. 3.17 лабораторной работы № 3;

Таблица 2.17 Параметры проекции

Название проекции	Тип проекции	Осевой меридиан ° ' "	Ордината осевого меридиана (м)	Ширина зоны °	Масштабный коэффициент

3) *создание системы координат* осуществляется последовательным нажатием в соответствующих закладках ПО LGO клавиш **Management** (в левой панели главного рабочего окна ПО) → **Coordinate Systems** → **Coordinate Systems** (папка со знаком + в левой панели появившегося окна), вызвать нажатием правой кнопки мыши на эту папку контекстное меню и в нем выбрать **New**, после чего ввести в соответствующие строки появившегося окна данные по системе координат, как это показано на рис. 2.47.

Нажать ОК.

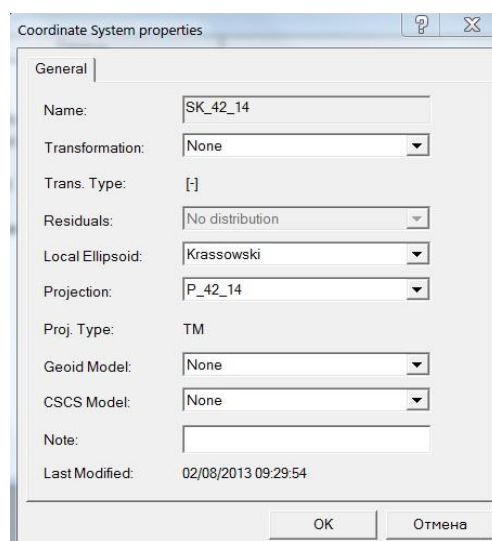


Рис. 2.47. Окно для задания новой системы координат

При создании СК, указанной на рис. 2.47, использованы 2 ранее созданных на этапах 1 и 2 элемента – эллипсоид (Красовского) и проекция (P_42_14).

При присвоении системам координат имени для удобства дальнейшей работы следует придерживаться некоторого правила (шаблона), как это показано на рис. 2.47, например SK_42_14 – буквы SK означают система координат (*Coordinate System*) цифра 42 означает СК-42 (или СК-95, так как проекции и эллипсоиды у них одинаковые), цифра 14 означает 6-градусную координатную зону № 14.

Аналогично создаются системы координат для зон, покрывающих Новосибирскую область (всего НСО покрывается тремя 6-градусными координатными зонами № 13, 14 и 15). Номер зоны, для которой требуется создать студенту в своем варианте систему координат, определяется по ординате координат исходных пунктов, которые начинаются с номера зоны. Данные о созданной СК занести в табл. 2.18.

Таблица 2.18 Параметры системы координат

Название СК	Эллипсоид	Тип проекции	Номер 6-градусной зоны

При выполнении лабораторной работы № 3 на компьютере, где выполняют работы другие студенты, референц-эллипсоид Красовского, проекции и системы координат в БД ПО LGO могут быть введены Вашими предшественниками, выполнявшими аналогичную работу. Поэтому следует использовать введенные другими студентами параметры эллипсоида Красовского, проекций и СК **только после тщательной проверки**, убедившись, что все данные введены верно. Даже если эллипсоид, проекция и СК созданы не Вами, а другими студентами, после проверки их корректности параметры этих элементов СК вносятся в табл. 2.16–2.18 лабораторной работы № 3.

2. *Вычисление параметров трансформирования* и прикрепление их к проекту выполняется следующим образом.

1) *создание нового проекта* по ранее описанной методике (см. подразд. 1.3.1) для того, чтобы ввести в него все отнаблюдаемые на объекте

опорные пункты ГГС. При создании проекта на закладке ***Coordinates*** задайте систему координат, соответствующую координатам этих пунктов, т. е. нужно из имеющихся в БД ПО LGO систем координат выбрать ту СК, которая создана Вами для Вашего варианта на предыдущем этапе лабораторной работы № 3 (СК-95, зона вашего варианта);

2) *ввод в данный проект координат исходных пунктов* путем импорта каталога координат опорных пунктов в формате ASCII. Импортируемым файлом при этом является файл каталога координат опорных пунктов в СК-95, прилагаемый к настоящей лабораторной работе № 3 в качестве исходных данных. Каталог координат опорных пунктов для каждого варианта лабораторной работы № 3 приведен в прил. 4. Используя каталог, точки можно ввести в проект также и вручную.

При этом следует обратить внимание, чтобы название пунктов в новом проекте, где будут помещены ОП, с абсолютной точностью совпадало с названиями соответствующих пунктов в проекте, где выполнялась обработка ГНСС-измерений. Для исправления возможных неточностей рекомендуется названия исходных пунктов при их наименовании в новом проекте (в случае ввода этих точек в проект не импортированием, а созданием вручную) получать путем копирования и вставки названий из основного проекта.

Непосредственно процедура импорта осуществляется последовательным нажатием в соответствующих закладках ПО LGO клавиш ***Import*** → ***ASCII data*** → вызвать окно импорта (см. рис. 2.48), в нем указать путь к каталогу ОП и выбрать его по имени, задать правильно его формат (*.txt), систему координат (*Local*), систему высот (*ortometric*), нажать ***Import***, после чего серия интуитивно понятных окон проведет Вас до завершения процесса импорта ОП в новый проект.

По завершении импорта ОП во вспомогательный проект, этот проект откроется автоматически и ОП будут показаны на карте (схеме) проекта. После этого можно приступить непосредственно к процессу определения параметров трансформирования между WGS-84 и локальной СК, в которой заданы опорные пункты;

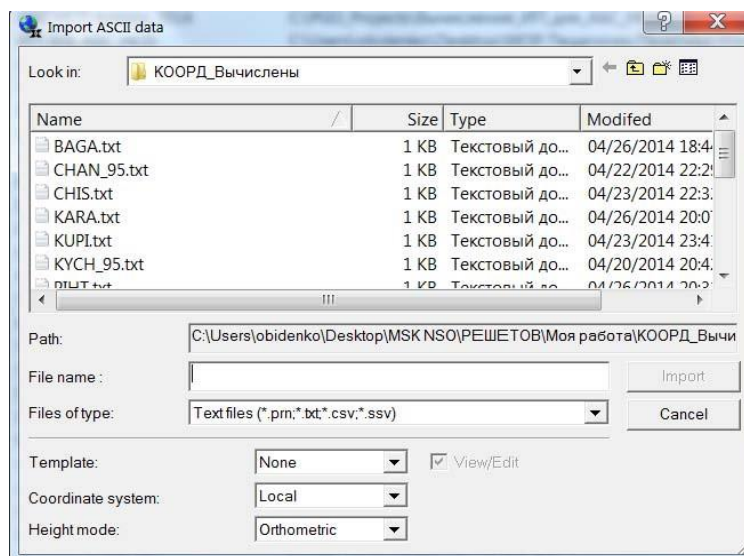


Рис. 2.48. Окно импорта данных в формате ASCII

3) для вычисления параметров трансформирования последовательным нажатием в левой панели рабочего окна ПО LGO кнопок *Tools (Инструменты)* → *Datum and Map* вызвать соответствующее диалоговое окно (*Datum and Map*), разделенное на нижнее и верхнее поле (рис. 2.49). В верхнем поле выбрать проект в СК WGS-84, а в нижнем поле (но не наоборот!) – проект с опорными пунктами. Затем перейти в закладку *Match (сопоставление)* внизу окна *Datum and Map*, после чего окно разделится на три поля (рис. 2.50): два сверху и одно внизу. В нижнем поле окна щелкните правой кнопкой, и в появившемся меню выберите *Configuration* (конфигурация). Это меню позволяет выбрать один из описанных в теоретической части к лабораторной работе № 3 методов определения параметров трансформирования между СК WGS-84 и локальной СК в зависимости от того, в какой СК заданы локальные ОП. Для случая, рассматриваемого в настоящем пособии, когда обработка ГНСС-измерений выполнялась в СК WGS-84, с учетом того, что локальная СК является проекционной СК (т. е. ОП заданы в некоторой СК, описываемой своим датумом (эллипсоидом) и проекцией), в появившемся диалоговом окне в строке *Transformation type (тип трансформирования)* выбрать, как указано и обосновано в теоретической части лабораторной работы № 3, наиболее подходящий для данной ситуации способ определения параметров трансформирования – *Stepwise*. Установить в строке *Height mode* (тип высоты) режим *Orthometric* (нормальная). В строке *Default point type* (тип точки по умолчанию) выбрать из списка *Position and Height* (коорди-

наты и высота) и подтвердить ввод, нажав ОК. Снова щелкнуть правой кнопкой в нижнем поле, и в появившемся меню выбрать *Auto Match* для автоматического подбора идентичных пунктов в обоих проектах (именно для этого было важно, чтобы названия пунктов в обоих проектах были идентичными). Список этих пунктов появится в нижнем поле (см. рис. 2.50).

Однако, если идентичные пункты в разных проектах были поименованы по-разному, сопоставление пар пунктов придется выполнить вручную. Для этого в верхней части текущего окна из одного списка следует выбрать (одним щелчком) нужный пункт, затем в другом списке дважды нажать на соответствующий ему пункт. После этого в нижнем поле появится строка, отображающая название пункта, указанного первым в левом списке (система координат А – WGS-84). Аналогично следует подобрать остальные пары пунктов. Следует иметь в виду, что статус опорных пунктов в уже подобранной паре может быть изменен с планово-высотного (*Position and Height*) на только плановый (*Position*) или только высотный (*Height*). Для этого нужно в нижнем окне дважды щелкнуть по строке требуемого пункта в колонке *Point Type* (тип точки) и из появившегося списка выбрать требуемый статус.

Contents	Name	Coordinate System	Last Used
Projects	BCE_31_АБС_НКО_84	WGS 1984	06/29/2015 14:30:12
	Вариант-23	WGS 1984	06/24/2015 00:19:08
	Эксперименты_Методичка	WGS 1984	05/06/2015 10:38:02

Contents	Name	Coordinate System	Last Used
Projects	АБС НКО СК-95_14	SK_42_14	07/06/2015 16:45:49
	KARA	SK_42_13	07/05/2015 22:40:06
	BCE_31_АБС_НКО_84	WGS 1984	06/29/2015 14:30:12
	Вариант-23	WGS 1984	06/24/2015 00:19:08
	Эксперименты_Методичка	WGS 1984	05/06/2015 10:38:02

Рис. 2.49. Окно выбора основного и вспомогательного проектов в *Datum and Map*

Point Id	Y	X	Point Id	Northing	Easting
BAGA	3661741.3933	800987.3373	BARA	6140523.4500	14332895.0100
BARA	3559066.8806	732896.2098	BOLO	6176934.6700	14713079.4900
BOLO	3588162.9337	352689.7258	CHER	6013796.2431	14654681.5921
CHAN	3541852.6671	833178.2503	CHUL	6107872.8271	14498187.4195

Matched points: 19 / Transformation type: Stepwise		
System A Point Id	Point Type	
☒ BARA	Position + height	
☒ BOLO	Position + height	
☒ CHER	Position + height	
☒ CHUL	Position + height	

Рис. 2.50. Закладка сопоставления пунктов окна *Datum and Map*

Непосредственно вычисление параметров трансформирования осуществляется после выбора закладки Results (*Результаты*) окна *Datum and Map*, после чего в появившемся окне отобразятся средние квадратические ошибки (СКО) определения параметров трансформирования между СК WGS-84 и локальной СК. Включение закладки Report (*Отчет*) позволяет открыть и просмотреть детальный отчет о результатах определения параметров трансформирования, сохранить который в нужной директории можно, щелкнув правой кнопкой в поле отчета и выбрав *Save As*.

Полученные значения параметров трансформирования следует выбрать (скопировать) из отчета ПО LGO и внести в соответствующие графы табл. 2.19. Следует при этом иметь в виду, что обозначения параметров в отчете ПО LGO могут отсутствовать (например, могут быть даны названия параметра на английском языке) или не совпадать с обозначением в табл. 2.19, поэтому установить их соответствие студент должен самостоятельно, руководствуясь пониманием физического смысла процесса преобразования и его параметров.

Таблица 2.19 Значения параметров трансформирования

Параметры 3D- трансформирования Гельмерта (модификация Моло- денского – Бадекаса)			Параметры 2Dтрансформирования Гельмерта			Параметры высот- ной трансформа- ции
Центр вращения	7 параметров Гель- мерта		Центр вращения	4 параметра Гельмерта		
X_0	dX		X_0	dN		Количество общих точек
	dY			dE		
Y_0	dZ		Y_0	α		Точность транс- формирования
	$?_X$			m		
Z_0	$?_Y$					
	$?_Z$					
	$?$					

Полученная точность (СКО) определения параметров трансформирования между WGS-84 и СК-42 (СК-95) в общем случае определяется точностью более грубой локальной СК и считается удовлетворительной, если она составляет несколько (5-7, до 10) сантиметров. В случае недостаточно точного вычисления параметров трансформирования следует проверить правильность ввода координат пунктов в локальной СК, а также попробовать методом перебора опорных пунктов, включаемых в вычисление параметров трансформирования, добиться требуемого качественного результата. При отборе опорных пунктов, используемых для вычисления параметров трансформирования, следует иметь в виду, что конечный набор ОП должен соответствовать общему правилу их расположения на объекте работ, описанных в теоретической части лабораторной работы № 3, в том числе ОП должны покрывать объект работ равномерно и охватывать границы объекта работ.

Полученные характеристики точности определения параметров трансформирования следует сохранить как текстовый файл, из которого данные ввести в соответствующие колонки табл. 2.20 лабораторной работы № 3.

Таблица 2.20

Остаточные погрешности (Residuals) определения параметров трансформирования

Пункт	Остаточные погрешности				
	dX (dN), м	dY (dE), м	В плане (Position), м	По высоте dH ($dHgt$), м	План+высота (Position+Height), м
1					

Для сохранения конечных параметров трансформирования и прикрепления их к проекту следует перейти в закладку *Results*, в текущем поле щелкнуть правой кнопкой и выбрать из появившегося КМ опцию *Store*. В появившемся диалоговом окне в строке *name* (имя) следует задать название параметрам трансформирования. При присвоении вновь вычисленным параметрам трансформирования имени для удобства дальнейшей работы следует придерживаться некоторого правила (шаблона), например *ЛР3_Var_17_WGS84--СК95*, где *ЛР3_Var_17* означает название объекта работ (в приведенном примере это Лабораторная работа № 3, вариант №

17), *WGS84* означает исходную систему координат (WGS84), *CK95* после двух штрихов означает конечную СК (СК-95).

Кроме того, следует отметить галками две строки:

-*Automatically create new coordinate system* (автоматически создать новую систему координат);

-*Automatically attach to project A and close Datum/Map* (автоматически присоединить к проекту А и закрыть окно *Datum/Map*).

После этого нажать ОК.

Проверить, что проекту, имеющему СК WGS-84 (при вычислении параметров трансформирования именно он был использован в качестве проекта А), присвоена только что созданная Вами СК можно в свойствах проекта (*Properties*). Для этого нужно нажать *Projects* в левой панели главного рабочего окна ПО, после чего в появившемся в правом окне списке проектов найти свой проект. В колонке *Coordinate Systems* Вы увидите название, только что созданной СК при сохранении вычисленных параметров трансформирования: *LP3_Vap_17_WGS84--CK95*.

3. *Формирование и сохранение каталога координат в СК-95*. Теперь, когда проекту, в котором было выполнено вычисление и уравнивание координат пунктов в СК WGS-84, прикреплена новая СК, определяющая переход от WGS-84 к СК-95, можно нажатием одной кнопки осуществлять преобразование координат пунктов проекта от СК WGS-84 к СК-95 и обратно. Делается это при открытом окне проекта в закладке *Points*, где в табличной форме отображается каталог координат точек проекта с большим перечнем дополнительных их характеристик. СК каталога можно изменить, оперируя панелью инструментов, изображенной на рис. 2.51.

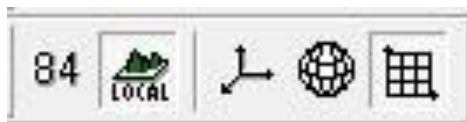


Рис. 2.51. Блок инструментов для изменения СК и вида координат точек

Переключение СК проекта между СК WGS-84 (84) и СК-95 (*Local*) осуществляется двумя левыми кнопками этой панели. Изменения вида координат осуществляется тремя кнопками, расположенными правее: *Cartesian* (пространственные X, Y, Z, кнопка посередине); *Geodetic* (геодезические B,

L , H , вторая справа кнопка); *Grid* (плоские прямоугольные x , y , h , кнопка справа).

Для формирования каталога координат в СК-95 следует, используя 5 вышеуказанных кнопок, задать систему координат (локальная – *Local*) и тип координат точек (плоские прямоугольные x , y , h). Сформировать окончательный вид каталога координат, соответствующий табл. 2.21, можно с помощью контекстного меню, появляющегося после щелчка правой кнопкой мышки по заголовку колонок. Используя опцию *Columns* (колонки) из этого КМ, оставить в каталоге нужные колонки (проставить напротив названия этих колонок галки), а используя кнопку *Move Down*, *Move Up* (*передвинуть вниз/вверх*), можно расположить колонки в требуемом в каталоге порядке.

Сохранение каталога координат осуществляется из закладки *Points*, для чего в рабочем поле здесь щелчком правой кнопки мыши вызывается КМ. В нем выбирается опция *Save As* (*сохранить как*), в появившемся диалоговом окне в строке *File Name* (*название файла*) задайте имя файла и путь в директорию для сохранения. В строке *Save as type* (тип сохранения) установите (из списка) *Text (Tab delimited *.txt)*, в строке *include header* (*включая заголовки*) установите галочку, в строке *Lines to save* (*сохранить строки*) укажите *All (все)*, если вы хотите сохранить все точки из списка координат или *Checked* (выбранные), если вы хотите сохранить только те точки из списка координат, которые Вами отмечены галочкой в списке. Нажмите кнопку *Save* для сохранения каталога координат в виде, соответствующем вашим настройкам. Данные из сохраненного в текстовом виде каталога следует перенести в соответствующие графы табл. 2.21.

Таблица 2.21 Каталог координат пунктов СГС в СК-95

№ п/п	Название пункта	x , м	y , м	h , м
1				

4. *Сравнение координат пунктов в СК-95*, вычисленных по параметрам трансформирования в лабораторной работе № 3 с эталонными значениями, приведенными в каталоге координат исходных пунктов (даны в качестве исходных данных в лабораторной работе № 3), выполняется с целью проверки качества определения параметров трансформирования.

По итогам сравнения следует заполнить табл. 2.22.

Таблица 2.22

Сравнение каталожных и вычисленных координат исходных пунктов

Пункт	Координаты из каталога			Координаты вычислены по параметрам трансформирования разность		
	x , м	y , м	h , м	x , м	y , м	h , м
1						
				$dx =$	$dy =$	$dh =$

Составление пояснительной записки

Пояснительная записка составляется в соответствии с требованиями и рекомендациями, изложенными в лабораторной работе № 1.

В ПЗ в обязательном порядке приводятся заполненные в настоящем учебно-методическом пособии табл. 2.16–2.22 (для удобства эти таблицы предоставляются обучающимся пустыми в формате Word), а также комментарии студента по получению приведенных в них результатов и выполнению всех остальных этапов работ.

Контрольные вопросы

1. В какой системе координат вычисляются базовые векторы спутниковой геодезической сети и определяются координаты пунктов (геоцентрической, референцной, местной)? Почему? Чем задается система координат геодезической сети, развиваемой спутниковыми методами?

2. Какие системы геоцентрических систем координат Вы знаете? Назовите систему координат следующих ГНСС-систем: GPS, ГЛОНАСС.

3. Назовите референцные СК, используемые в Российской Федерации.

4. Какие государственные системы координат, используемые в России, Вы знаете?

5. Назовите основные элементы, образующие плоскую проекционную систему координат.

6. Объясните принцип определения параметров преобразования (трансформирования) между СК WGS-84 и СК-42 (СК-95).

7. Для чего при развитии геодезических сетей спутниковыми методами ГНСС-измерения выполняются на опорных пунктах ГГС, координаты которых известны в государственной системе координат?

9. Расскажите о принципах расположения в развиваемой спутниковыми методами геодезической сети опорных пунктов, которые используются для преобразования координат пунктов из геоцентрической в локальную референцную СК. На примере геодезической сети своего варианта лабораторной работы № 2 покажите расположение в ней опорных пунктов. Предложите и аргументируйте другие варианты их размещения.

11. В чем заключается принцип образования систем координат СК-42 и СК-95? Определите приближенные (с точностью ± 1 км) координаты точек M , L , расположенных на рис. 2.52, в СК-42 (СК-95), зона $N = 15$.



Список рекомендуемой литературы

1. Антонович К. М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии. Т. 1. – М.: Картгеоцентр, 2005. – 334 с.
2. Антонович К. М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии. Т. 2. – М.: Картгеоцентр, 2006. – 360 с.
3. Генике А. А., Побединский Г. Г. Глобальная спутниковая система определения местоположения GPS и ее применение в геодезии. – М.: Картгеоцентр, 1999. – 272 с.
4. Герасимов А. П. Спутниковые геодезические сети. – М.: Проспект, 2012. – 176 с.
5. Горобец В. П. Определение связи между геоцентрической системой координат и СК-95. – М.: Научный мир, 2013. – 288 с.
6. Современное состояние и направления развития геодезического обеспечения РФ. Системы координат / В. П. Горобец, Г. В. Демьянов, А. Н. Майоров, Г. Г. Побединский // Геопрофи. – 2013. – № 6. – С. 4–9.
7. ГОСТ 32453–2013. Глобальная навигационная спутниковая система. Системы координат. Методы преобразований координат определяемых точек. – М.: Стандартинформ, 2014. – 16 с.
8. Единая государственная система геодезических координат 1995 года (СК-95) / Н. Л. Макаренко, Г. В. Демьянов, Е. В. Новиков и др., под ред. А. А. Дращнюка. – М.: Федер. служба геодезии и картографии России, 2000. – 34 с.
9. Морозов В. П. Курс сфероидической геодезии. – М. Недра, 1979.
10. Основные положения о государственной геодезической сети России. – М.: ЦНИИГАиК, 2004.
11. О единых государственных системах координат [Электронный ресурс]: постановление Правительства Российской Федерации от 28 декабря 2012 г. № 1463. – Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
12. Об установлении единых государственных систем координат [Электронный ресурс]: постановление Правительства Российской Федерации от 28 июля 2000 г. № 568. – Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
13. Об утверждении правил установления местных систем координат [Электронный ресурс]: постановление Правительства Российской Федерации от 3 марта 2007 г. № 139. – Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
14. Руководство пользователя по выполнению работ в системе координат 1995 года (СК-95): ГКИНП (ГНТА)-06-278-04: утв. приказом Роскартографии от 01.03.2004 № 29-пр. – М.: ЦНИИГАиК, 2004. – 138 с.

15.Сайт ITRF [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://itrf.ensg.ign.fr/>.

16.Сайт геодезической службы США (National Geodetic Survey NGS) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ngs.noaa.gov/ANTCAL/>.

17.Leica Geo Office 5.0. Printed documentation. – Heerbrug, Switzerland; Leica Geosystems AG, 2006. – 906 с.

Приложение 1 Список вариантов заданий для лабораторной работы № 1

Номер варианта	Исходный пункт сети		Даты ГНСС-наблюдений	
	название	аббревиатура	Группа № 1	Группа № 2
1	Венгерово	VENG	неделя 1	неделя 2
2	Чановский	CHAN	неделя 1	неделя 2
3	Купино	KUPI	неделя 1	неделя 2
4	Краснозерское	KRAS	неделя 1	неделя 2
5	Довольное	DOVO	неделя 1	неделя 2
6	Ордынка	ORDN	неделя 1	неделя 2
7	Ордынка	ORDN	неделя 1	неделя 2
8	Искитим	ISKI	неделя 1	неделя 2
9	Мошково	MHKV	неделя 1	неделя 2
10	Черепаново	CHER	неделя 1	неделя 2
11	Северное	SEVE	неделя 1	неделя 2
12	Барабинск	BARA	неделя 1	неделя 2
13	Татарск	TATA	неделя 1	неделя 2
14	Чистоозерное	CHIS	неделя 1	неделя 2
15	Барабинск	BARA	неделя 1	неделя 2
16	Баган	BAGA	неделя 1	неделя 2
17	Карасук	KARA	неделя 1	неделя 2
18	Здвинск	ZDVI	неделя 1	неделя 2
19	Каргат	KARG	неделя 1	неделя 2
20	Чулым	CHUL	неделя 1	неделя 2
21	Кочки	KOCH	неделя 1	неделя 2
22	Сузун	SUZU	неделя 1	неделя 2
23	Болотное	BOLO	неделя 1	неделя 2
24	Новосибирск	NSKW	неделя 1	неделя 2
25	Маслянино	MASL	неделя 1	неделя 2

Примечания:

1. Под группами № 1 и № 2 при выполнении лабораторных работ подразумеваются группы магистрантов 1-го курса (МГ-11 и МГ-12). Группам с бóльшим номером (МГ-13 и выше) номер группы для выбора дат ГНСС-наблюдений устанавливается преподавателем при выдаче работ.

2.Время наблюдений, на период которых требуется скачать данные со станций АБС НСО (это время для данного варианта совпадает с интервалом ранее скачанных данных ГНСС-наблюдений на станциях МГС) составляет одну неделю (7 дней), при этом интервалы измерений для групп № 1 и № 2 являются смежными недельными периодами наблюдений на пунктах. Конкретные даты наблюдений, которые используются при выполнении лабораторной работы № 1 в данном году, указываются преподавателем при выдаче задания.

3.Варианты для групп № 1 и № 2 имеют одинаковый номер, означающий, что начальный пункт сети в этих вариантах одинаков. Однако исходные ГНСС-измерения в идентичных вариантах используются за разные даты, таким образом, варианты для групп № 1 и № 2 отличаются, образуя в сумме 50 вариантов лабораторной работы № 1.

4.Сырые данные ГНСС-измерений на этих пунктах в соответствующие даты наблюдений в формате RINEX выдаются студенту для выполнения лабораторной работы № 1 (находятся в учебной аудитории, в рабочей директории компьютера, указанной преподавателем).

Список пунктов, включенных в СГС в вариантах заданий для лабораторной работы № 2

Номер варианта	Пункты сети данного варианта		Даты наблюдений	
	название	аббревиатура	Группа № 1	Группа № 2
1	Барабинск	BARA	неделя 1	неделя 2
	Чановский	CHAN	неделя 1	неделя 2
	Кыштовка	KYSH	неделя 1	неделя 2
	Северное	SEVE	неделя 1	неделя 2
	Татарск	TATA	неделя 1	неделя 2
	ВЕНГЕРОВО	VENG	неделя 1	неделя 2
	Усть-Тарка	YST_	неделя 1	неделя 2
2	Барабинск	BARA	неделя 1	неделя 2
	ЧАНОВСКИЙ	CHAN	неделя 1	неделя 2
	Чистоозерное	CHIS	неделя 1	неделя 2
	Кыштовка	KYSH	неделя 1	неделя 2
	Северное	SEVE	неделя 1	неделя 2
	Татарск	TATA	неделя 1	неделя 2
	Усть-Тарка	YST_	неделя 1	неделя 2
3	Баган	BAGA	неделя 1	неделя 2
	Барабинск	BARA	неделя 1	неделя 2
	Чановский	CHAN	неделя 1	неделя 2
	Чистоозерное	CHIS	неделя 1	неделя 2
	КУПИНО	KUPI	неделя 1	неделя 2
	Венгерово	VENG	неделя 1	неделя 2
	Здвинск	ZDVI	неделя 1	неделя 2
4	Баган	BAGA	неделя 1	неделя 2
	Барабинск	BARA	неделя 1	неделя 2
	Чистоозерное	CHIS	неделя 1	неделя 2
	Довольное	DOVO	неделя 1	неделя 2
	Карасук	KARA	неделя 1	неделя 2
	КРАСНОЗЕРСКОЕ	KRAS	неделя 1	неделя 2
	Здвинск	ZDVI	неделя 1	неделя 2
5	Баган	BAGA	неделя 1	неделя 2

	Барабинск	BARA	неделя 1	неделя 2
	ДОВОЛЬНОЕ	DOVO	неделя 1	неделя 2
	Карасук	KARA	неделя 1	неделя 2
	Краснозерское	KRAS	неделя 1	неделя 2
	Купино	KUPI	неделя 1	неделя 2
	Здвинск	ZDVI	неделя 1	неделя 2
6	Чулым	CHUL	неделя 1	неделя 2
	Каргат	KARG	неделя 1	неделя 2
	Коченево	KOCH	неделя 1	неделя 2
	Кочки	KOCK	неделя 1	неделя 2

Номер варианта	Пункты сети данного варианта		Даты наблюдений	
	название	аббревиатура	Группа № 1	Группа № 2
	Новосибирск	NSKW	неделя 1	неделя 2
	ОРДЫНКА	ORDN	неделя 1	неделя 2
	Сузун	SUZU	неделя 1	неделя 2
7	Чулым	CHUL	неделя 1	неделя 2
	Довольное	DOVO	неделя 1	неделя 2
	Каргат	KARG	неделя 1	неделя 2
	Кочки	KOCK	неделя 1	неделя 2
	Краснозерское	KRAS	неделя 1	неделя 2
	ОРДЫНКА	ORDN	неделя 1	неделя 2
	Сузун	SUZU	неделя 1	неделя 2
8	Черепаново	CHER	неделя 1	неделя 2
	ИСКИТИМ	ISKI	неделя 1	неделя 2
	Коченево	KOCH	неделя 1	неделя 2
	Колывань	KOLV	неделя 1	неделя 2
	Маслянино	MASL	неделя 1	неделя 2
	Мошково	MHKV	неделя 1	неделя 2
	Ордынка	ORDN	неделя 1	неделя 2
9	Искитим	ISKI	неделя 1	неделя 2
	Коченево	KOCH	неделя 1	неделя 2
	Колывань	KOLV	неделя 1	неделя 2
	МОШКОВО	MHKV	неделя 1	неделя 2

	Новосибирск	NSKW	неделя 1	неделя 2
	Ордынка	ORDN	неделя 1	неделя 2
	Тогучин	TOGU	неделя 1	неделя 2
10	ЧЕРЕПАНОВО	CHER	неделя 1	неделя 2
	Искитим	ISKT	неделя 1	неделя 2
	Маслянино	MASL	неделя 1	неделя 2
	Мошково	MHKV	неделя 1	неделя 2
	Новосибирск	NSKW	неделя 1	неделя 2
	Ордынка	ORDN	неделя 1	неделя 2
	Тогучин	TOGU	неделя 1	неделя 2
11	Барабинск	BARA	неделя 1	неделя 2
	Чистоозерное	CHIS	неделя 1	неделя 2
	Кыштовка	KYsh	неделя 1	неделя 2
	СЕВЕРНОЕ	SEVE	неделя 1	неделя 2
	Татарск	TATA	неделя 1	неделя 2
	Венгерово	VENG	неделя 1	неделя 2
	Усть-Тарка	Yst_	неделя 1	неделя 2
12	БАРАБИНСК	BARA	неделя 1	неделя 2
	Довольное	DOVO	неделя 1	неделя 2
	Купино	KUPI	неделя 1	неделя 2
	Кыштовка	KYsh	неделя 1	неделя 2
	Северное	SEVE	неделя 1	неделя 2

Номер варианта	Пункты сети данного варианта		Даты наблюдений	
	название	аббревиатура	Группа № 1	Группа № 2
	Венгерово	VENG	неделя 1	неделя 2
	Здвинск	ZDVI	неделя 1	неделя 2
13	Чановский	CHAN	неделя 1	неделя 2
	Чистоозерное	CHIS	неделя 1	неделя 2
	Купино	KUPI	неделя 1	неделя 2
	Кыштовка	KYSH	неделя 1	неделя 2
	ТАТАРСК	TATA	неделя 1	неделя 2
	Усть-Тарка	YST_	неделя 1	неделя 2
	Здвинск	ZDVI	неделя 1	неделя 2

14	Барабинск	BARA	неделя 1	неделя 2
	ЧИСТООЗЕРНОЕ	CHIS	неделя 1	неделя 2
	Каргат	KARG	неделя 1	неделя 2
	Купино	KUPI	неделя 1	неделя 2
	Северное	SEVE	неделя 1	неделя 2
	Венгерово	VENG	неделя 1	неделя 2
	Здвинск	ZDVI	неделя 1	неделя 2
15	БАРАБИНСК	BARA	неделя 1	неделя 2
	Чановский	CHAN	неделя 1	неделя 2
	Чистоозерное	CHIS	неделя 1	неделя 2
	Каргат	KARG	неделя 1	неделя 2
	Купино	KUPI	неделя 1	неделя 2
	Северное	SEVE	неделя 1	неделя 2
	Здвинск	ZDVI	неделя 1	неделя 2
16	БАГАН	BAGA	неделя 1	неделя 2
	Барабинск	BARA	неделя 1	неделя 2
	Чистоозерное	CHIS	неделя 1	неделя 2
	Чулым	CHUL	неделя 1	неделя 2
	Довольное	DOVO	неделя 1	неделя 2
	Каргат	KARG	неделя 1	неделя 2
	Здвинск	ZDVI	неделя 1	неделя 2
17	Баган	BAGA	неделя 1	неделя 2
	Барабинск	BARA	неделя 1	неделя 2
	Чистоозерное	CHIS	неделя 1	неделя 2
	КАРАСУК	KARA	неделя 1	неделя 2
	Купино	KUPI	неделя 1	неделя 2
	Северное	SEVE	неделя 1	неделя 2
	Здвинск	ZDVI	неделя 1	неделя 2
18	Барабинск	BARA	неделя 1	неделя 2
	Довольное	DOVO	неделя 1	неделя 2
	Карасук	KARA	неделя 1	неделя 2
	Краснозерское	KRAS	неделя 1	неделя 2
	Купино	KUPI	неделя 1	неделя 2

	Северное	SEVE	неделя 1	неделя 2
--	----------	------	----------	----------

Номер варианта	Пункты сети данного варианта		Даты наблюдений	
	название	аббревиатура	Группа № 1	Группа № 2
	<i>ЗДВИНСК</i>	<i>ZDVI</i>	неделя 1	неделя 2
19	Барабинск	BARA	неделя 1	неделя 2
	Чулым	CHUL	неделя 1	неделя 2
	Довольное	DOVO	неделя 1	неделя 2
	<i>КАРГАТ</i>	<i>KARG</i>	неделя 1	неделя 2
	Кочки	KOCK	неделя 1	неделя 2
	Краснозерское	KRAS	неделя 1	неделя 2
	Здвинск	ZDVI	неделя 1	неделя 2
20	<i>ЧУЛЫМ</i>	<i>CHUL</i>	неделя 1	неделя 2
	Довольное	DOVO	неделя 1	неделя 2
	Каргат	KARG	неделя 1	неделя 2
	Кочки	KOCK	неделя 1	неделя 2
	Краснозерское	KRAS	неделя 1	неделя 2
	Ордынка	ORDN	неделя 1	неделя 2
	Здвинск	ZDVI	неделя 1	неделя 2
21	Чулым	CHUL	неделя 1	неделя 2
	Довольное	DOVO	неделя 1	неделя 2
	Каргат	KARG	неделя 1	неделя 2
	<i>КОЧЕНЕВО</i>	<i>KOCH</i>	неделя 1	неделя 2
	Кочки	KOCK	неделя 1	неделя 2
	Ордынка	ORDN	неделя 1	неделя 2
	Сузун	SUZU	неделя 1	неделя 2
22	Черепаново	CHER	неделя 1	неделя 2
	Искитим	ISKI	неделя 1	неделя 2
	Коченево	KOCH	неделя 1	неделя 2
	Маслянино	MASL	неделя 1	неделя 2
	Мошково	MHKV	неделя 1	неделя 2
	Новосибирск	NSKW	неделя 1	неделя 2
	<i>СУЗУН</i>	<i>SUZU</i>	неделя 1	неделя 2
23	<i>БОЛОТНОЕ</i>	<i>BOLO</i>	неделя 1	неделя 2

	Искитим	ISKT	неделя 1	неделя 2
	Колывань	KOLV	неделя 1	неделя 2
	Маслянино	MASL	неделя 1	неделя 2
	Мошково	MHKV	неделя 1	неделя 2
	Новосибирск	NSKW	неделя 1	неделя 2
	Тогучин	TOGU	неделя 1	неделя 2
24	Черепаново	CHER	неделя 1	неделя 2
	Коченево	KOCH	неделя 1	неделя 2
	Колывань	KOLV	неделя 1	неделя 2
	Мошково	MHKV	неделя 1	неделя 2
	НОВОСИБИРСК	NSKW	неделя 1	неделя 2
	Ордынка	ORDN	неделя 1	неделя 2
	Тогучин	TOGU	неделя 1	неделя 2
Номер варианта	Пункты сети данного варианта		Даты наблюдений	
	название	аббревиатура	Группа № 1	Группа № 2
25	Черепаново	CHER	неделя 1	неделя 2
	Искитим	ISKT	неделя 1	неделя 2
	Колывань	KOLV	неделя 1	неделя 2
	МАСЛЯНИНО	MASL	неделя 1	неделя 2
	Мошково	MHKV	неделя 1	неделя 2
	Ордынка	ORDN	неделя 1	неделя 2
	Тогучин	TOGU	неделя 1	неделя 2

Примечания:

1.Под группами № 1 и № 2 при выполнении лабораторных работ подразумеваются группы магистрантов 1-го курса (МГ-11 и МГ-12). Группам с большим номером (МГ-13 и выше) номер группы для выбора дат ГНСС-наблюдений устанавливается преподавателем при выдаче работ.

2.Сырые данные ГНСС-измерений на пунктах сети в соответствующие даты наблюдений в формате RINEX выдаются студенту для выполнения лабораторной работы № 2 (находятся в рабочей директории лабораторной работы № 2 в учебной аудитории). Время наблюдений, на период которых требуется импортировать в проект данные со станций АБС НСО (это время для данного варианта совпадает с интервалом ранее скачанных данных ГНСС-наблюдений на станциях МГС), составляет одну неделю (7 дней), при этом интервалы измерений для групп № 1 и № 2 являются смежными недельными периодами наблюдений на пунктах. Конкретные даты наблю-

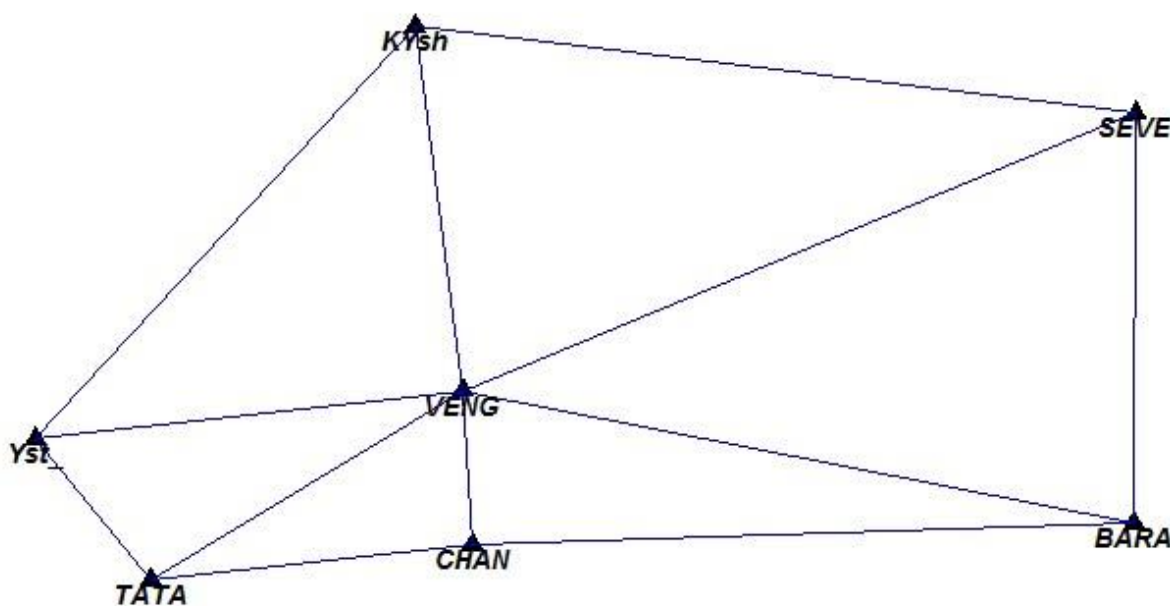
дений, которые используются при выполнении лабораторной работы № 2 в данном году, указываются преподавателем при выдаче задания.

3. Варианты для групп № 1 и № 2 имеют одинаковый номер, означающий, что состав пунктов сети в этих вариантах одинаков. Однако исходные ГНСС-измерения в идентичных вариантах используются за разные даты. Таким образом, варианты для групп № 1 и № 2 отличаются, образуя в сумме 50 вариантов лабораторной работы № 2.

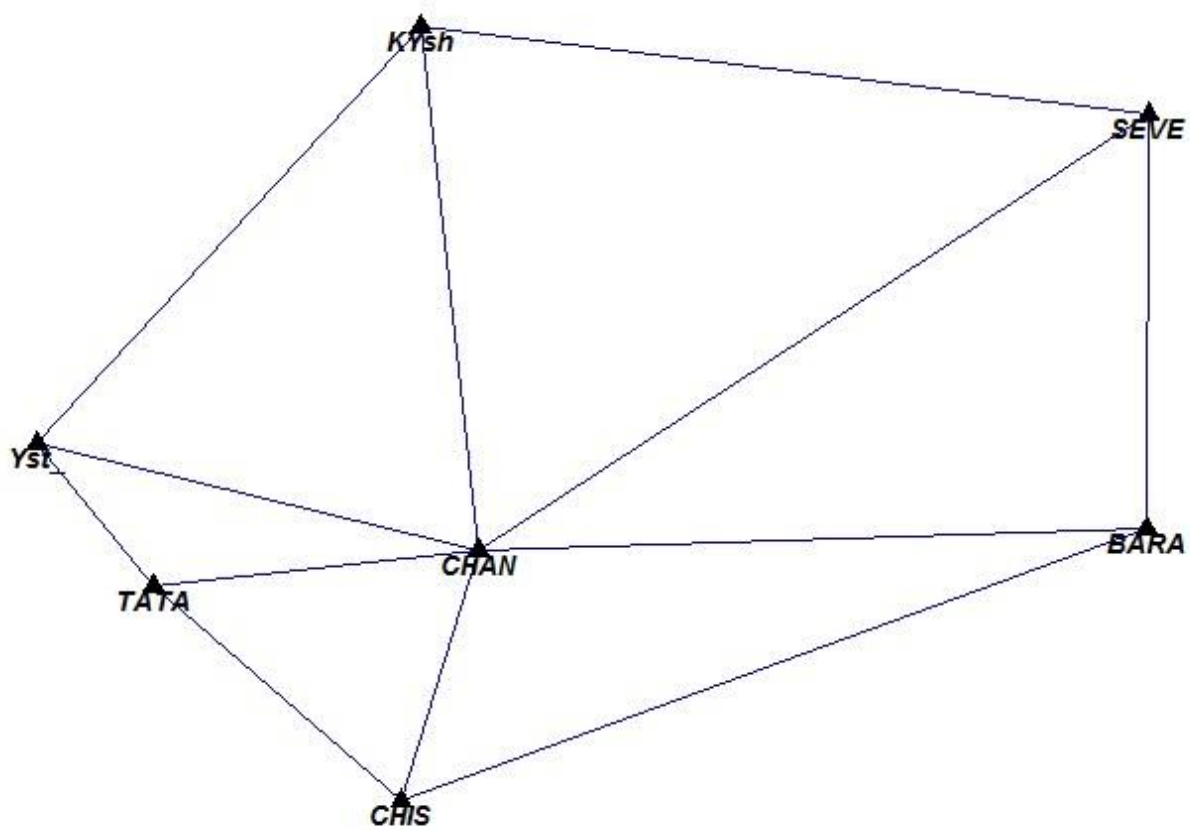
4. Заглавными буквами, жирным курсивом в списке выделены пункты, являющиеся в геодезической сети данного варианта начальными пунктами (их точные координаты в СК ITRF определены в лабораторной работе № 1 и должны быть использованы для точного задания геоцентрической СК для всей сети).

Приложение 3

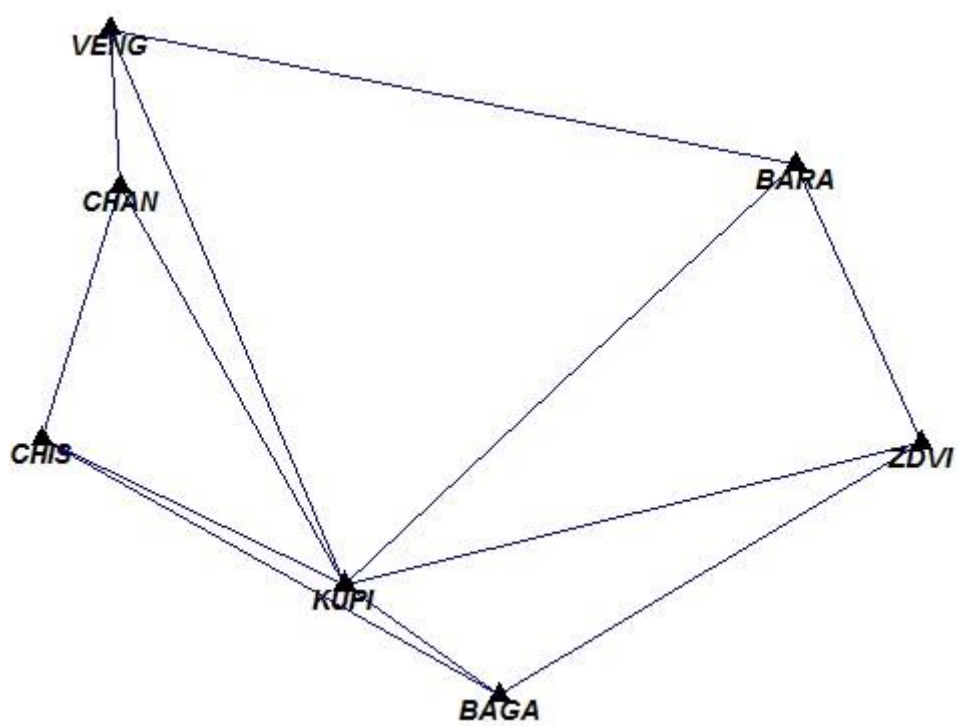
Схемы сетей в вариантах заданий для лабораторной работы № 2



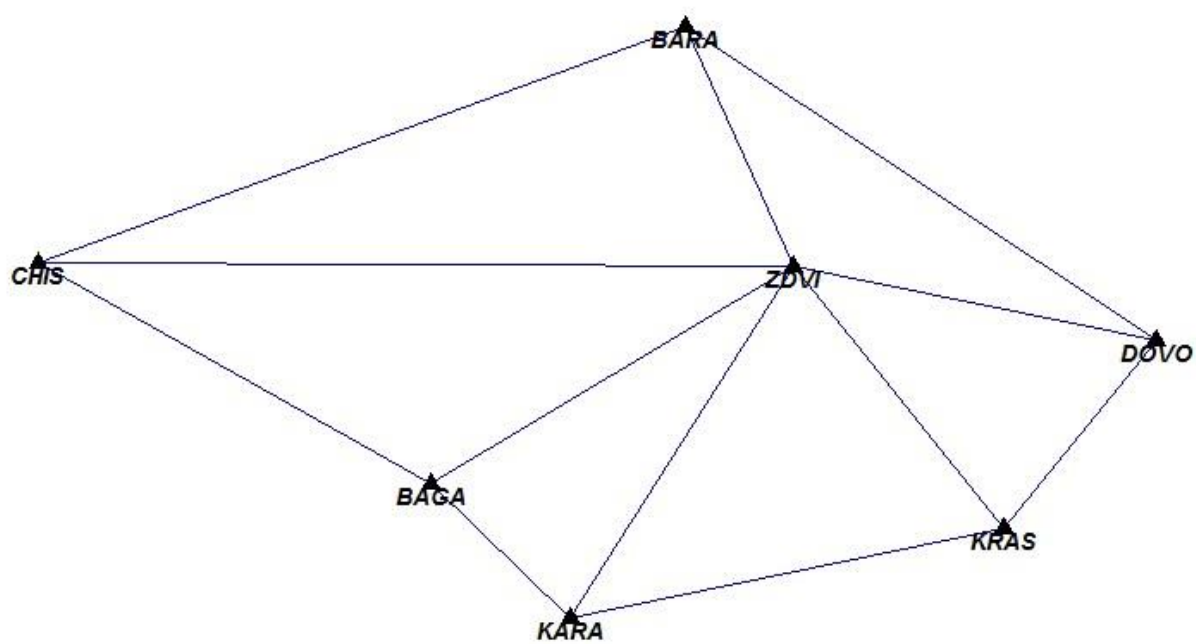
Вариант 1



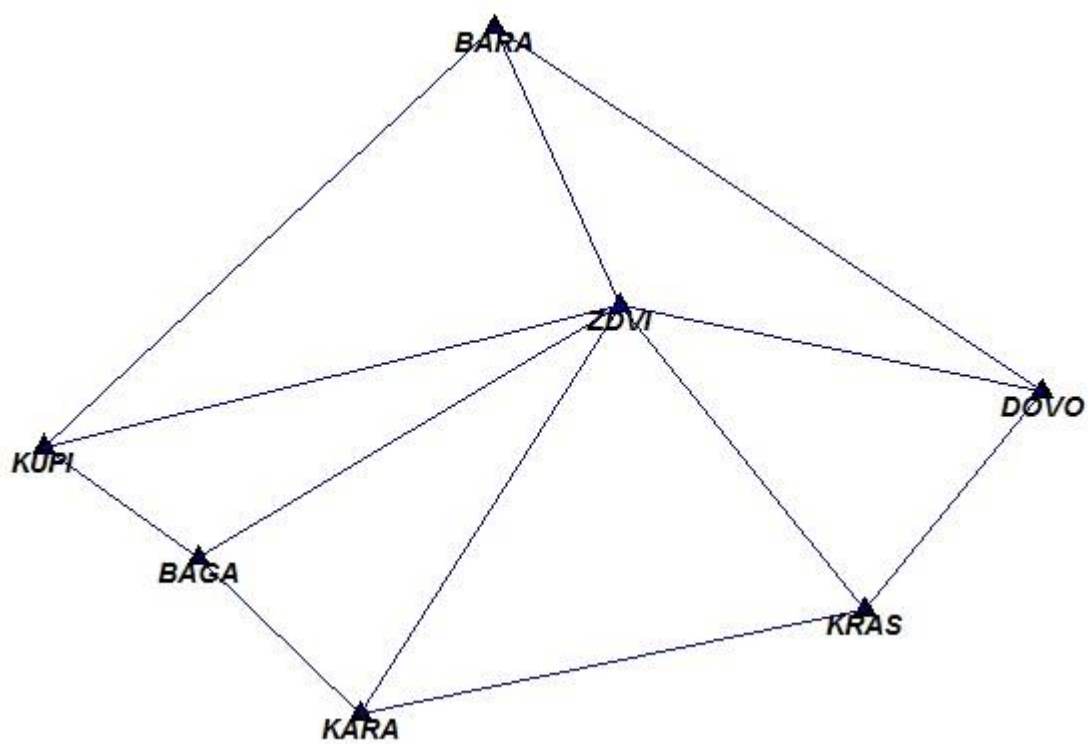
Вариант 2



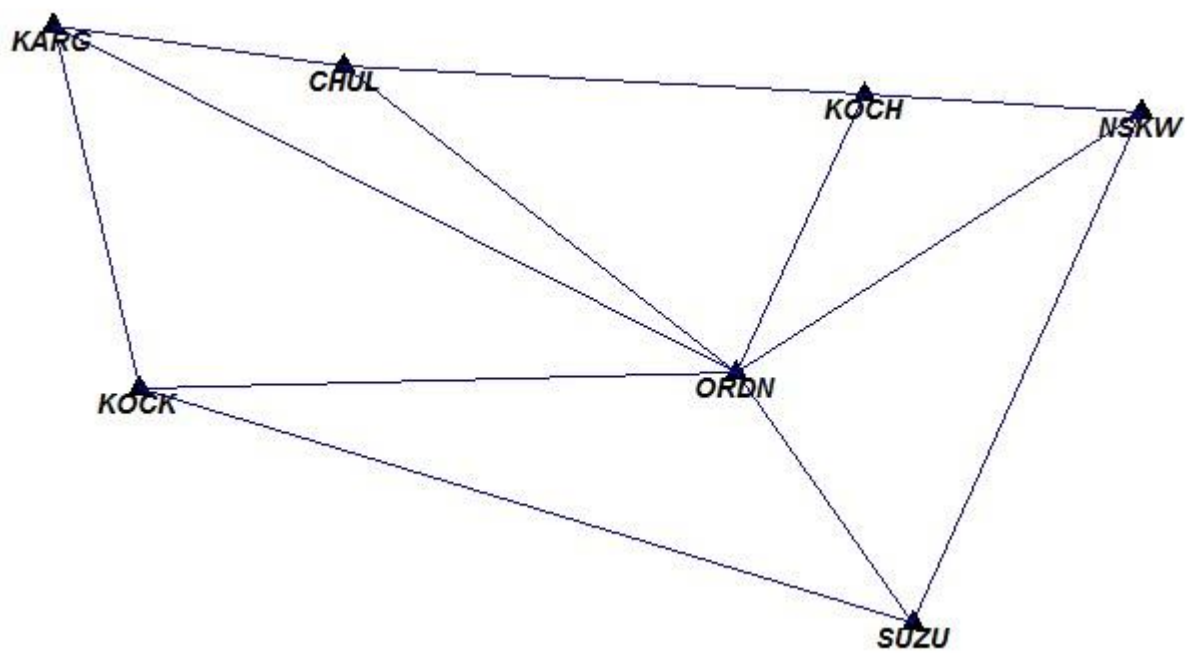
Вариант 3



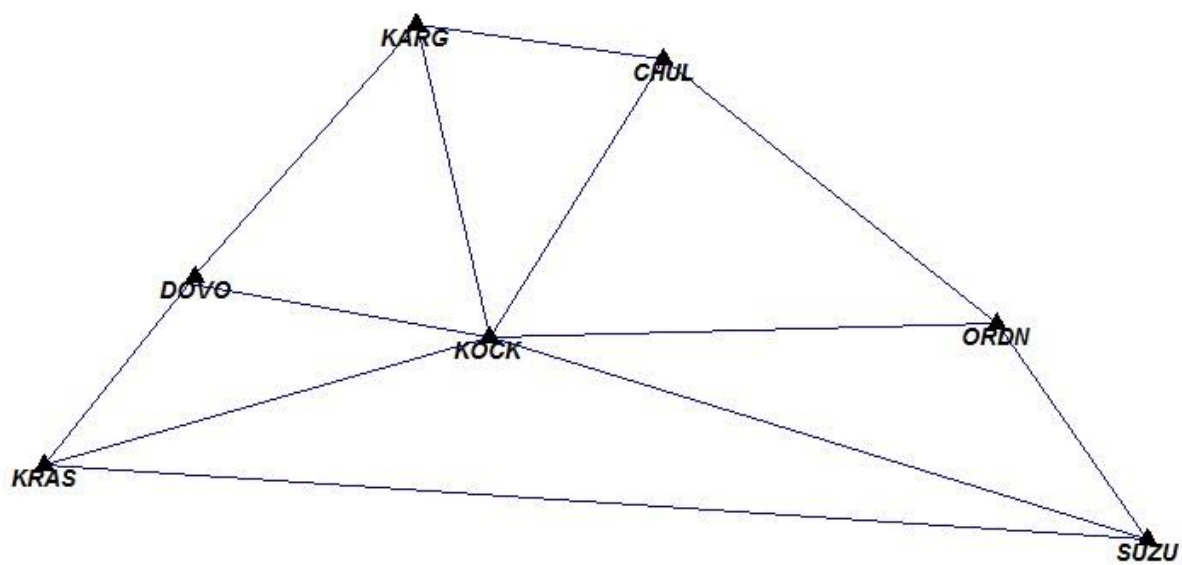
Вариант 4



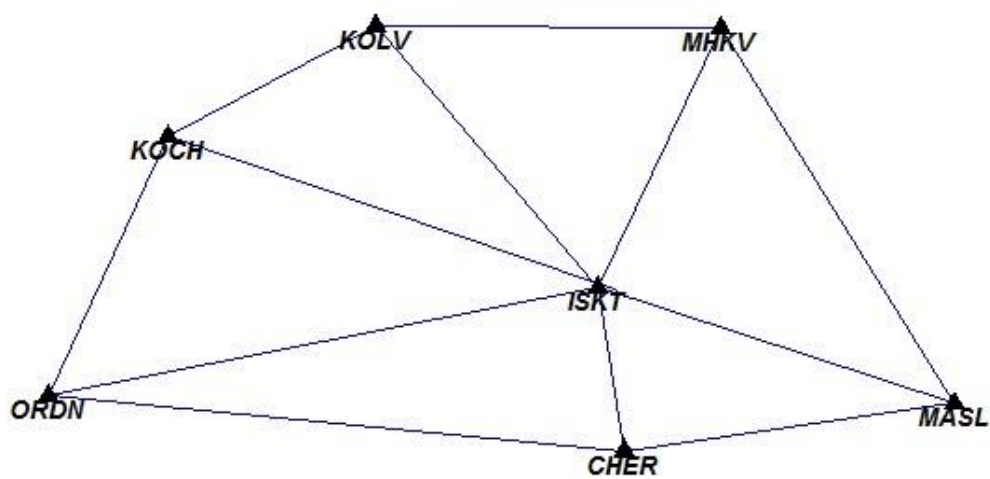
Вариант 5



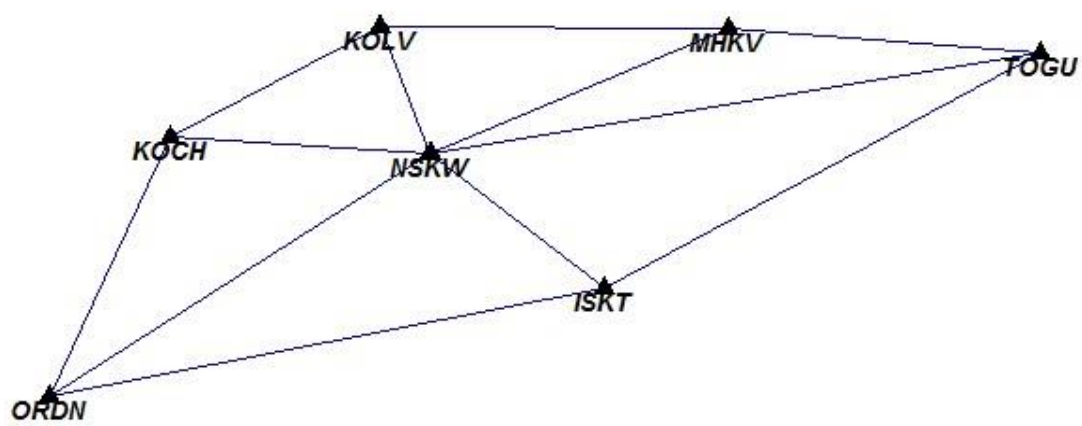
Вариант 6



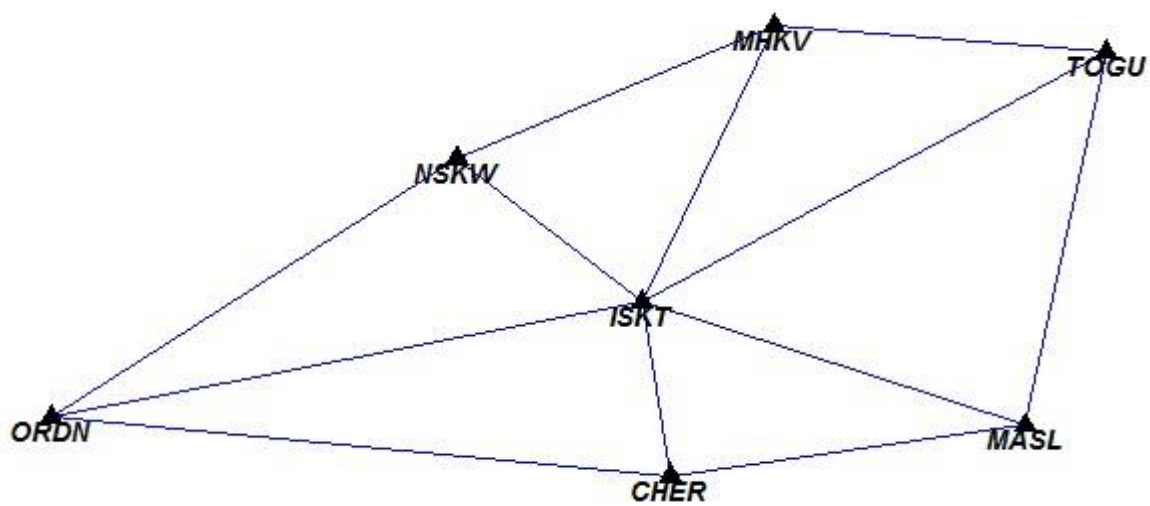
Вариант 7



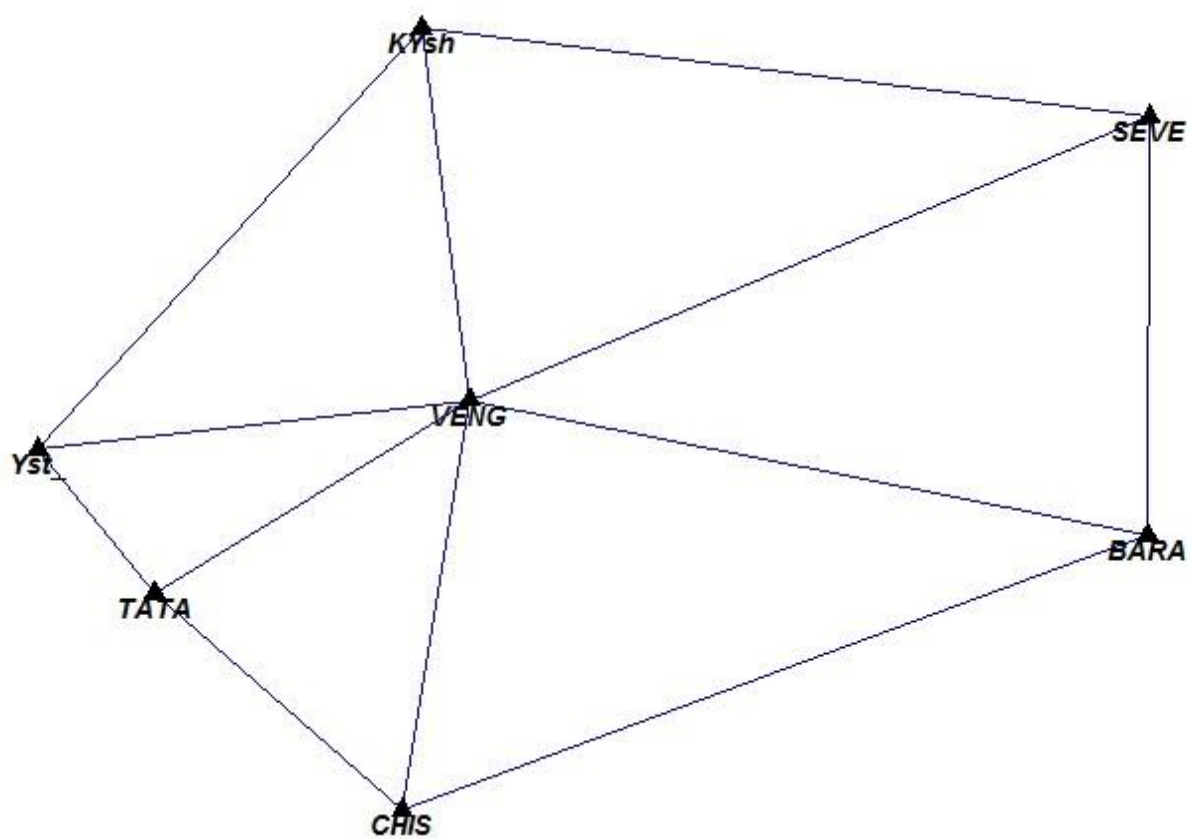
Вариант 8



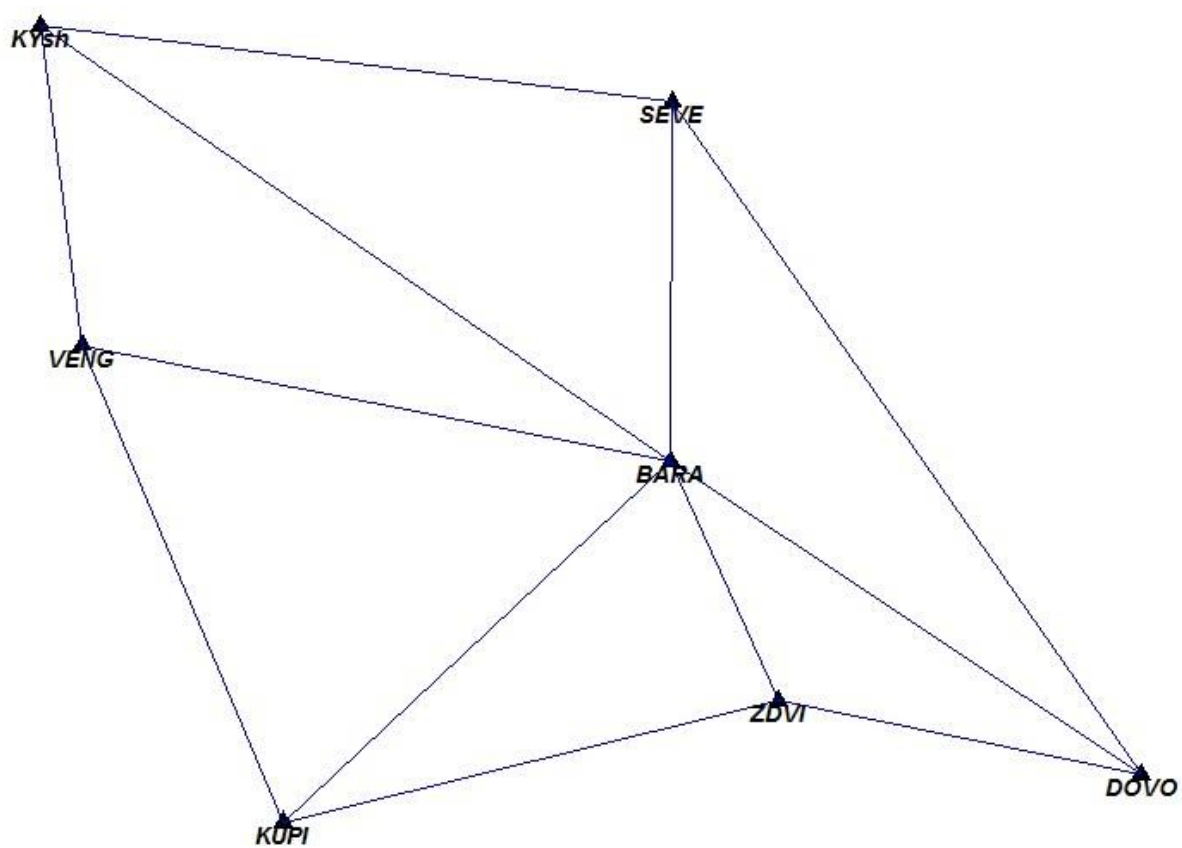
Вариант 9



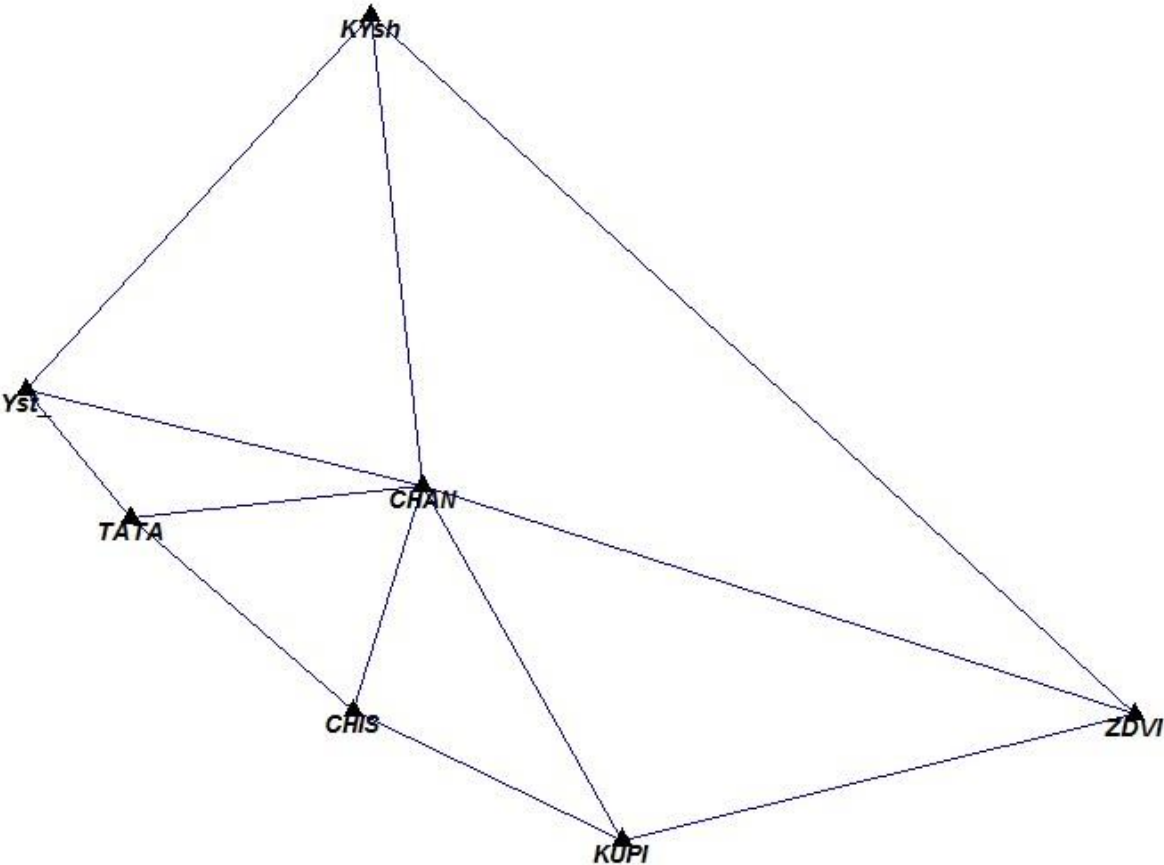
Вариант 10



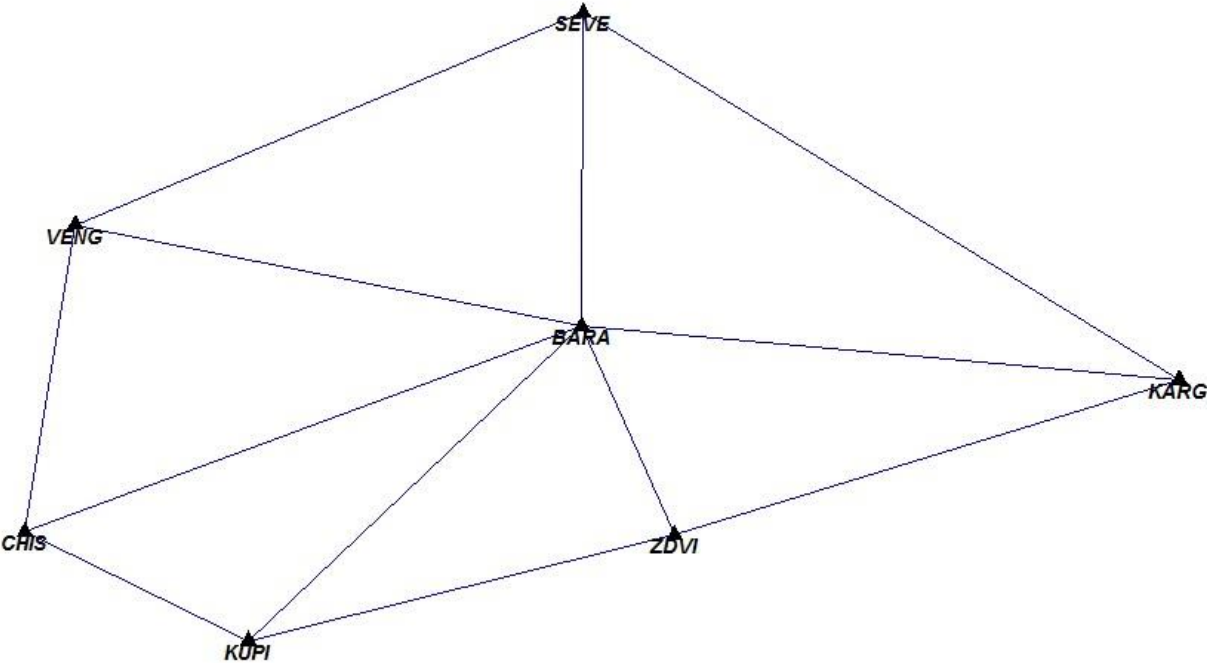
Вариант 11



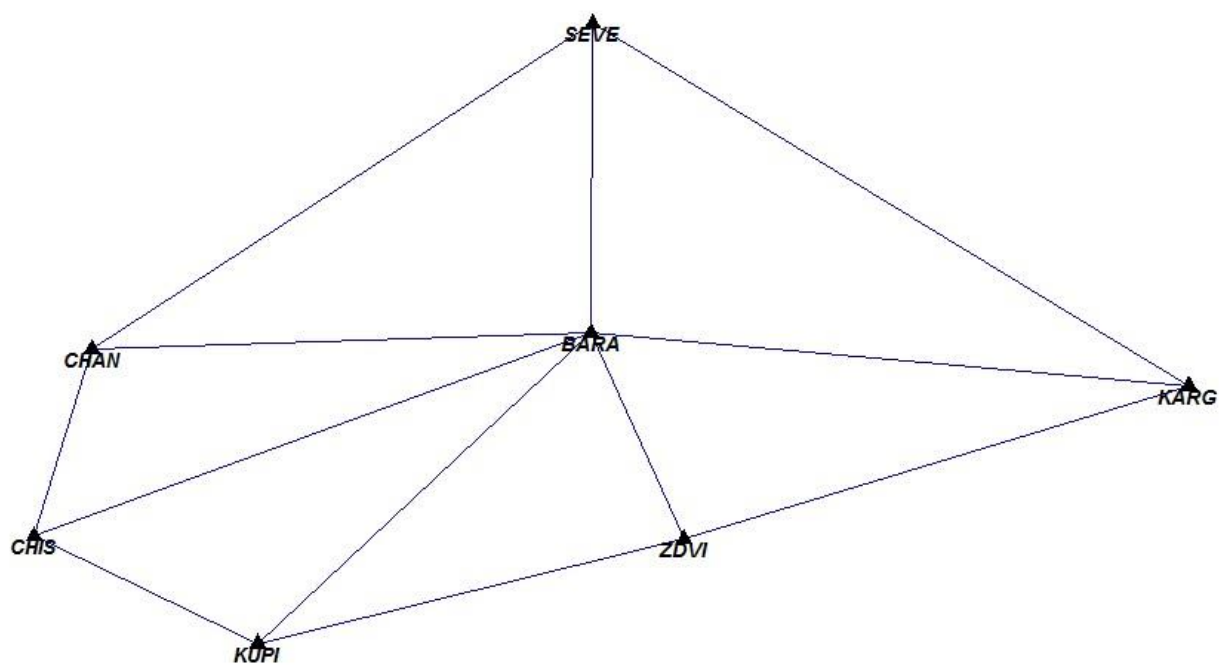
Вариант 12



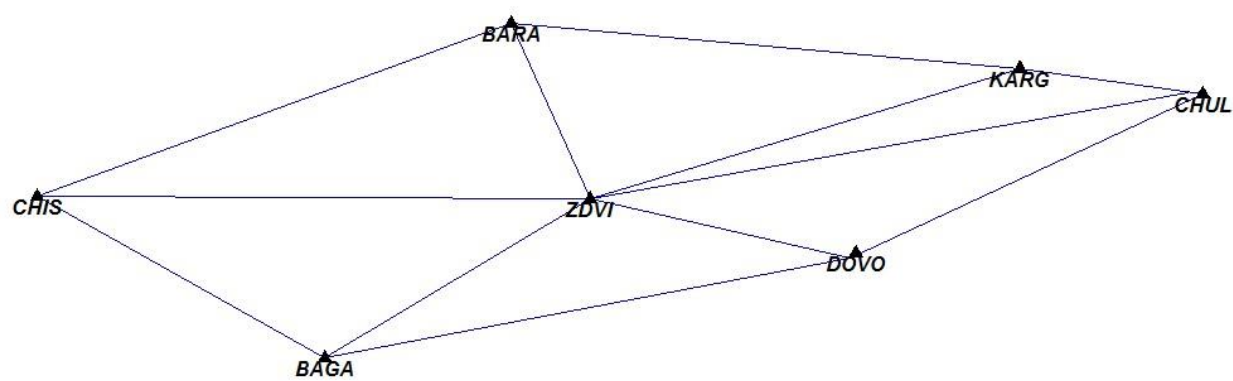
Вариант 13



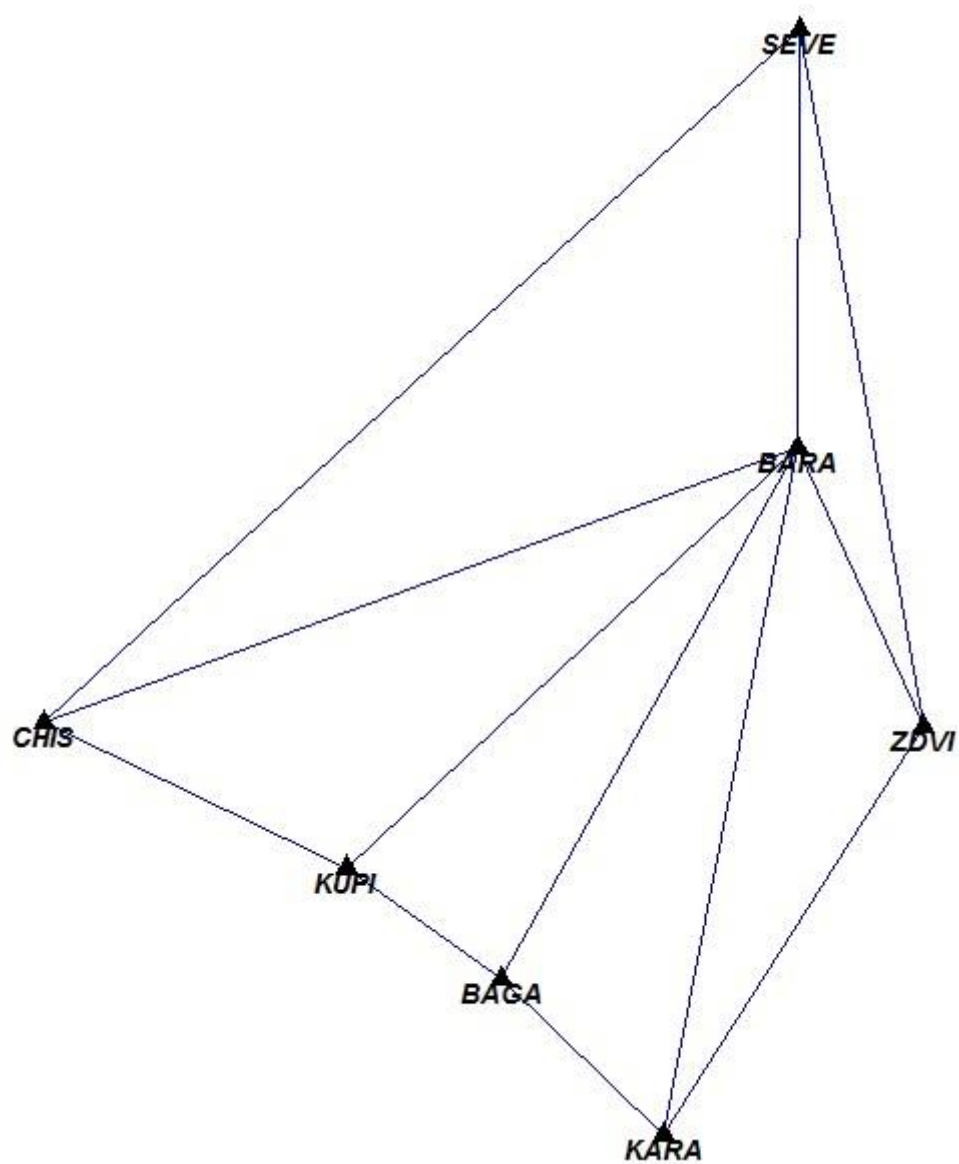
Вариант 14



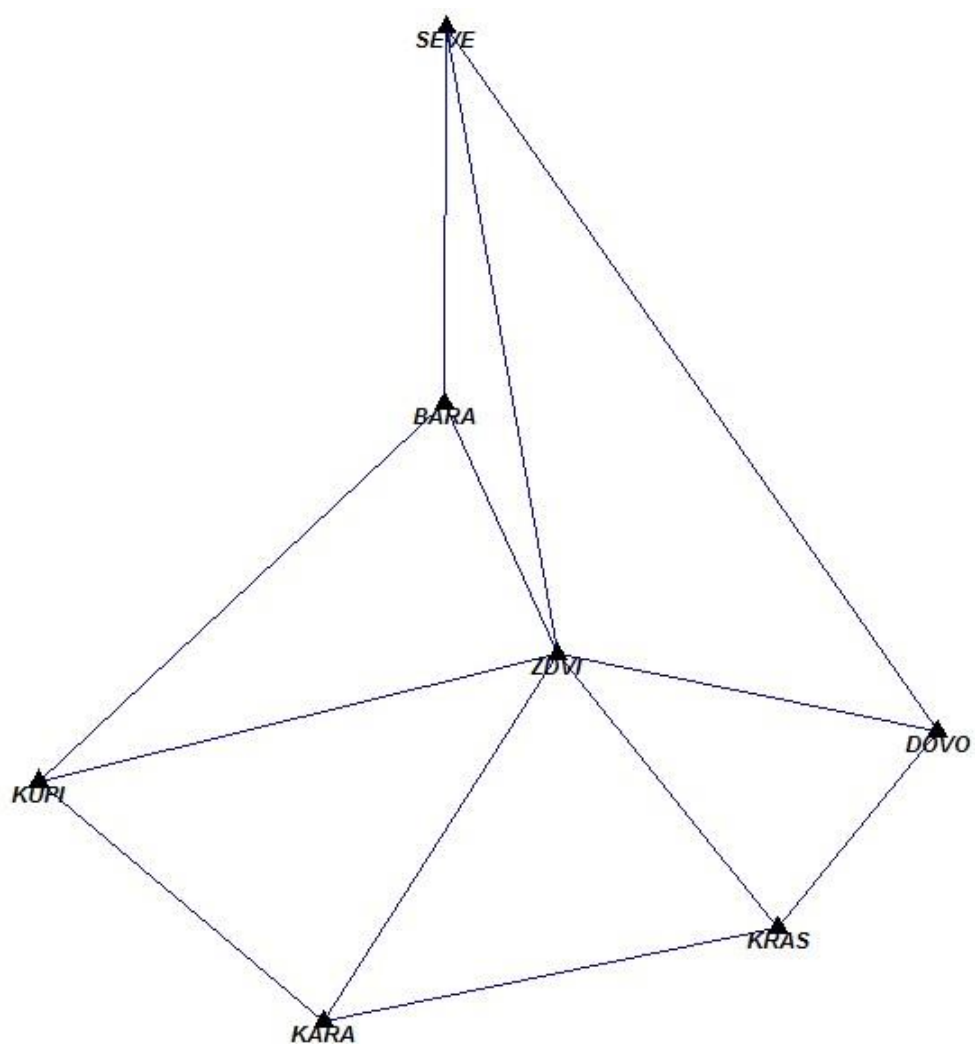
Вариант 15



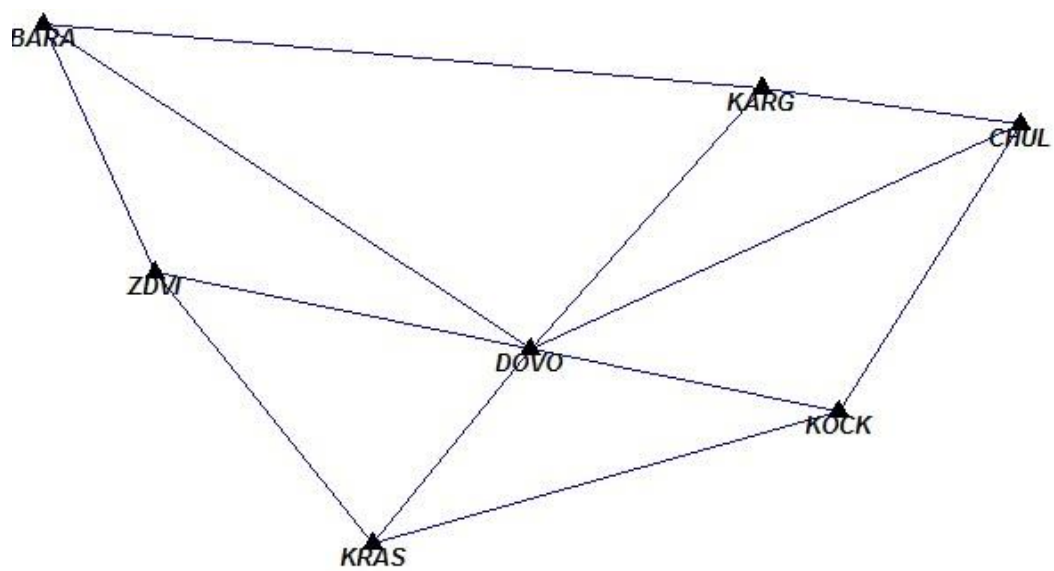
Вариант 16



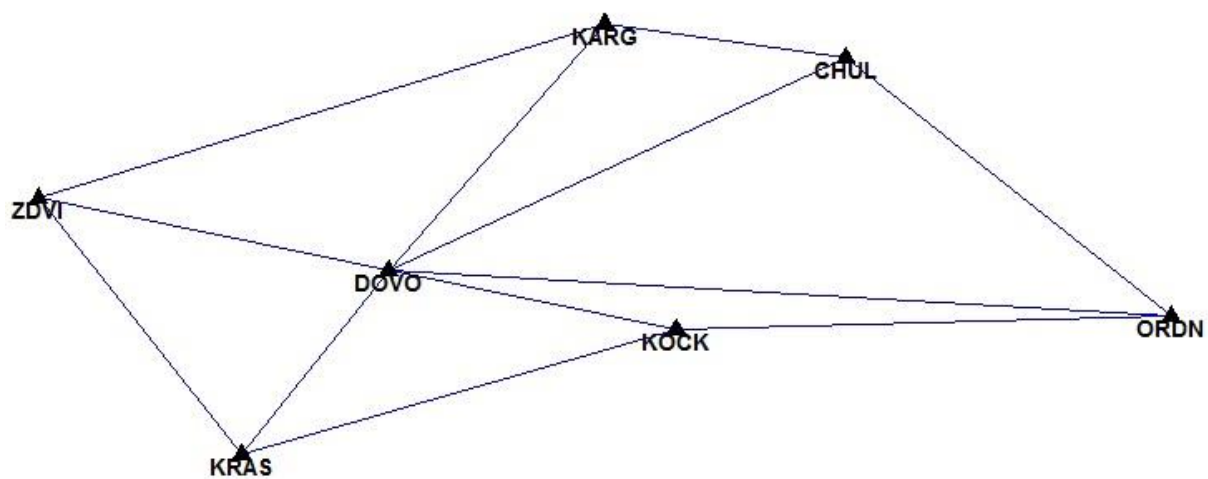
Вариант 17



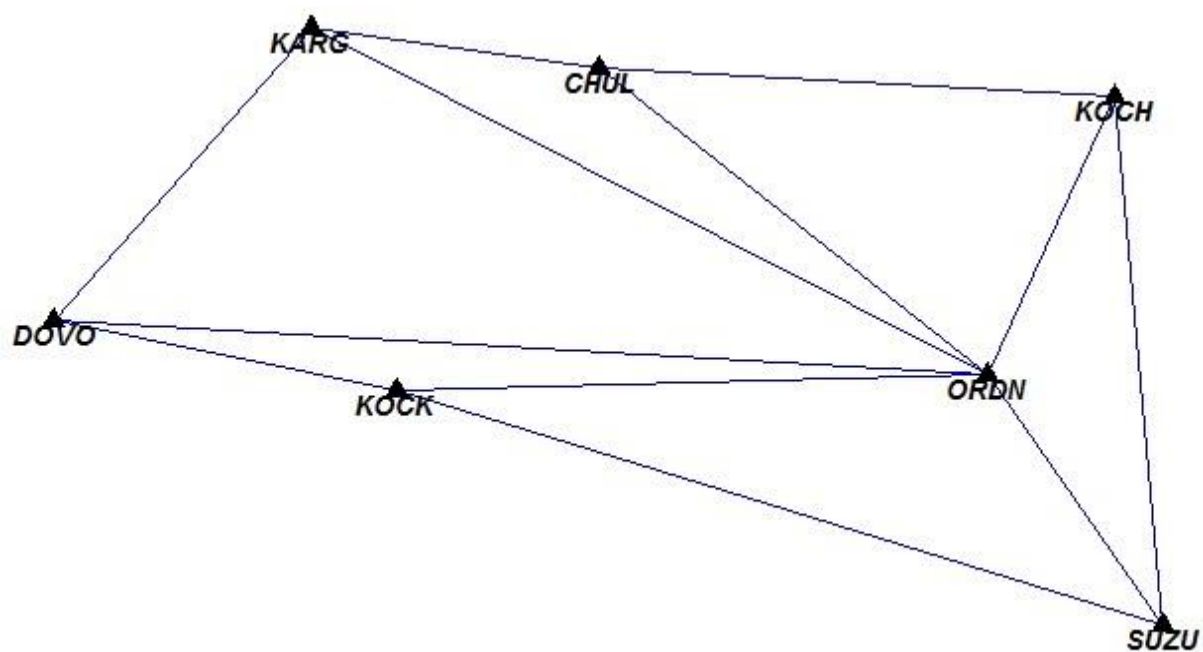
Вариант 18



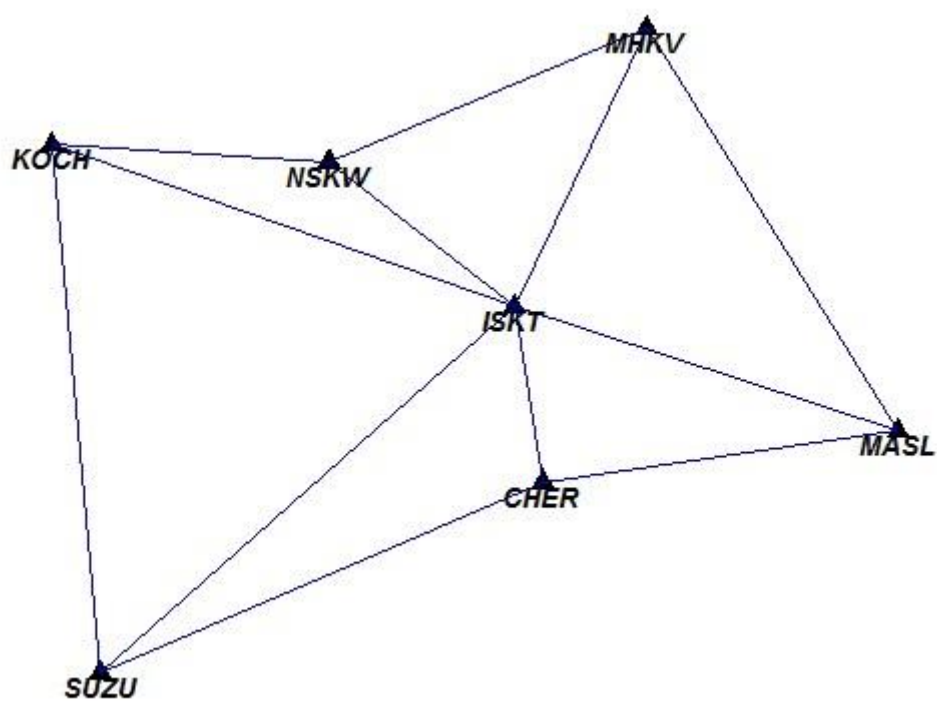
Вариант 19



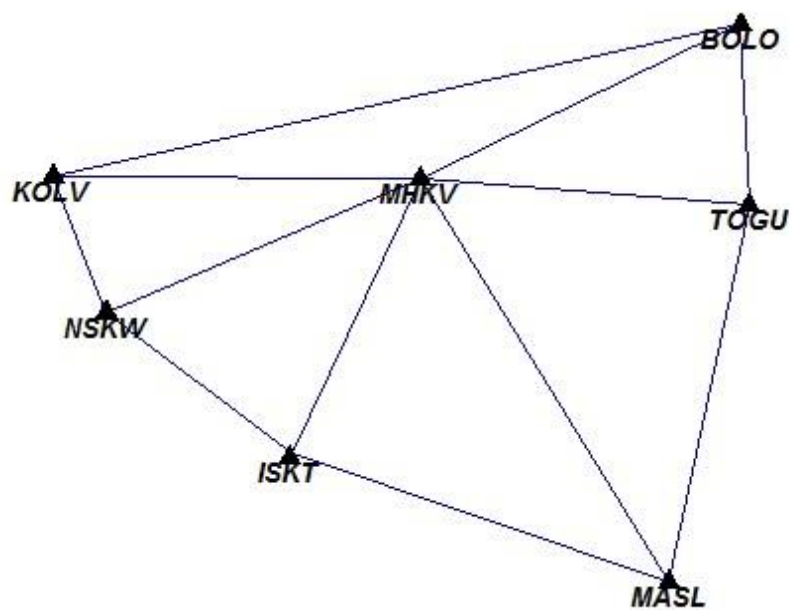
Вариант 20



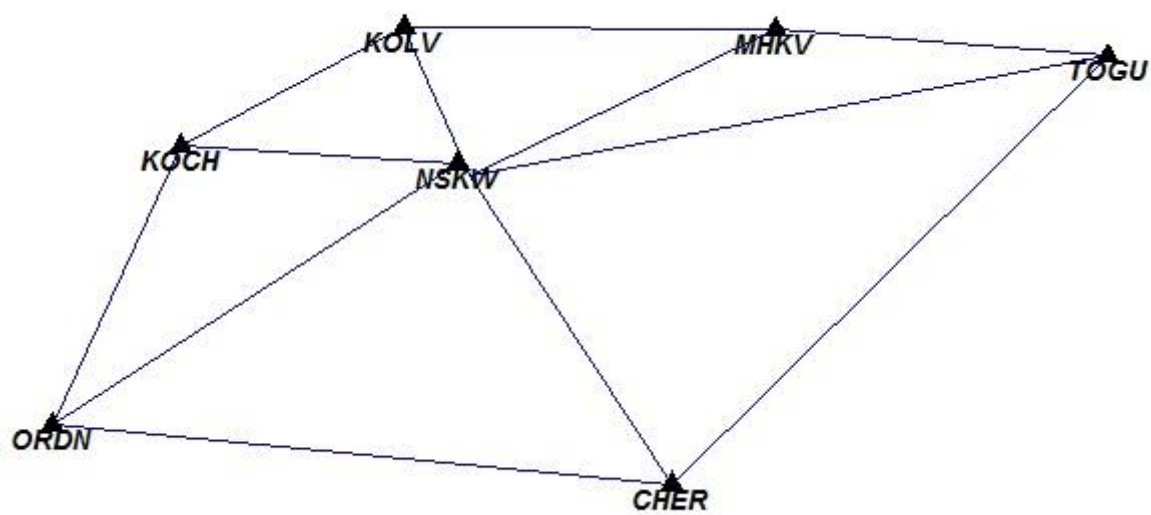
Вариант 21



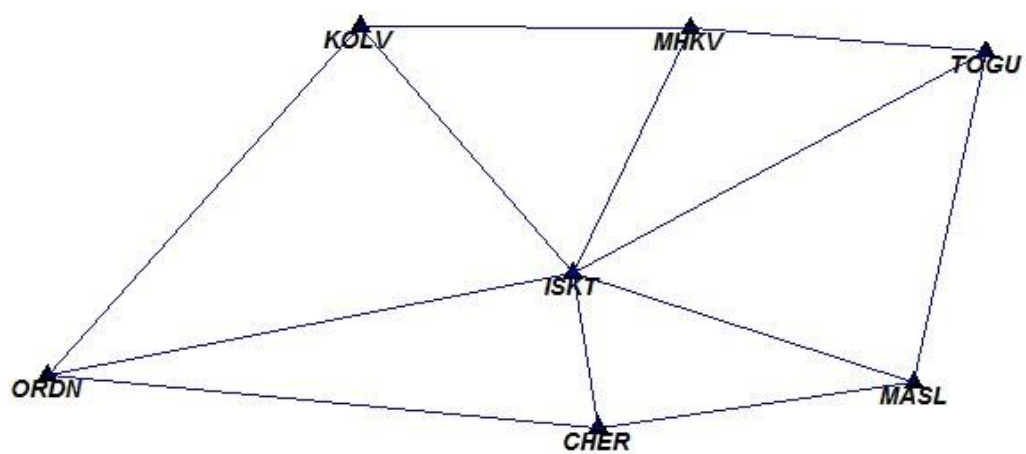
Вариант 22



Вариант 23



Вариант 24



Вариант 25

Каталог координат опорных пунктов в СК-95 для вариантов заданий лабораторной работы № 3

Номер варианта	Опорные пункты сети данного варианта		Координаты, м		
	название	аббревиатура	x	y	h
1	Усть-Тарка	YST_	6160496,13	13544318,43	123,25
	Кыштовка	KYSH	6272620,4	13599673,23	101,57
	Северное	SEVE	6253043,9	13708104,97	136,307
	Барабинск	BARA	6142730,28	13713161,99	130,13
2	Усть-Тарка	YST_	6160087,80	13544638,23	123,250
	Кыштовка	KYSH	6272212,07	13599993,03	101,570
	Чистоозерное	CHIS	6065687,03	13601822,61	126,469
	Барабинск	BARA	6142321,95	13713481,79	130,13
3	Усть-Тарка	YST_	6160087,80	13544638,23	123,250
	Кыштовка	KYSH	6272212,07	13599993,03	101,570
	Чистоозерное	CHIS	6065687,03	13601822,61	126,469
	Барабинск	BARA	6142321,95	13713481,79	130,13
4	Карасук	KARA	5960502,98	13700839,28	129,293
	Довольное	DOVO	6051383,79	13801882,10	149,400
	Чистоозерное	CHIS	6066018,97	13601483,04	126,469
	Барабинск	BARA	6142653,89	13713142,22	130,130
5	Довольное	DOVO	6041931,46	14413258,68	149,400
	Купино	KUPI	6032740,89	14259067,77	132,989
	Карасук	KARA	5959987,44	14304932,68	129,293
	Барабинск	BARA	6140404,79	14332710,75	130,130
6	Кочки	KOCK	6022989,48	14466767,04	167,360
	Новосибирск	NSKW	6097550,64	14619557,40	145,350
	Каргат	KARG	6118918,75	14454461,83	145,510
	Сузун	SUZU	5961770,34	14587386,19	162,200

Номер варианта	Опорные пункты сети данного варианта		Координаты, м		
	название	аббревиатура	x	y	h
7	Ордынка	ORDN	6026975,48	14558858,12	137,410
	Сузун	SUZU	5961469,40	14587405,60	162,200
	Краснозерское	KRAS	5984798,99	14384942,28	154,150
	Каргат	KARG	6118617,81	14454481,24	145,510
8	Маслянино	MASL	6029404,84	14708876,71	191,360
	Ордынка	ORDN	6027270,12	14558571,70	137,410
	Коченево	KOCH	6100990,00	14577130,89	170,070
	Мошково	MHKV	6134230,81	14666136,33	231,320
9	Искитим	ISKT	6060065,29	14648538,30	133,660
	Колывань	KOLV	6133300,23	14610112,09	159,330
	Ордынка	ORDN	6027411,69	14558435,25	137,410
	Тогучин	TOGU	6129590,40	14716367,20	150,160
10	Новосибирск	NSKW	6097181,25	14619144,61	145,350
	Ордынка	ORDN	6026907,03	14558425,92	137,410
	Маслянино	MASL	6029041,75	14708730,93	191,360
	Тогучин	TOGU	6129085,74	14716357,87	150,160
11	Усть-Тарка	Yst_	6160087,80	13544638,23	123,250
	Кыштовка	KYsh	6272212,07	13599993,03	101,570
	Чистоозерное	CHIS	6065687,03	13601822,61	126,469
	Барабинск	BARA	6142321,95	13713481,79	130,130
12	Северное	SEVE	6252984,40	13708051,38	136,307
	Кыштовка	KYsh	6272560,90	13599619,64	101,570
	Купино	KUPI	6029113,18	13648953,96	132,989
	Довольное	DOVO	6051400,68	13801848,28	149,400
13	Усть-Тарка	YST_	6160110,44	13544680,16	123,250
	Купино	KUPI	6028786,99	13649369,28	132,989
	Кыштовка	KYSH	6272234,71	13600034,96	101,570
	Здвинск	ZDVI	6069735,64	13736274,17	121,900
14	Купино	KUPI	6028675,95	13649355,75	132,989

Номер варианта	Опорные пункты сети данного варианта		Координаты, м		
	название	аббревиатура	x	y	h
	Венгерово	VENG	6174207,77	13609638,25	119,168
	Северное	SEVE	6252547,17	13708453,17	136,307
	Каргат	KARG	6131043,49	13836436,06	145,510
15	Чистоозерное	CHIS	6066162,29	13601806,67	126,469
	Купино	KUPI	6029239,61	13649311,41	132,989
	Северное	SEVE	6253110,83	13708408,83	136,307
	Каргат	KARG	6131607,15	13836391,72	145,51
16	Чистоозерное	CHIS	6073522,64	14215207,50	126,469
	Баган	BAGA	6001964,87	14281827,16	120,018
	Чулым	CHUL	6107672,28	14498356,94	150,910
	Барабинск	BARA	6140322,90	14333064,53	130,130
17	Чистоозерное	CHIS	6066020,49	13601891,33	126,469
	Здвинск	ZDVI	6070046,46	13736300,96	121,9
	КАРАСУК	KARA	5960504,50	13701247,58	129,293
	Северное	SEVE	6252969,03	13708493,49	136,307
18	Купино	KUPI	6028725,26	13649355,07	132,989
	Карасук	KARA	5960131,95	13701206,57	129,293
	Северное	SEVE	6252596,48	13708452,49	136,307
	Довольное	DOVO	6051012,76	13802249,39	149,400
19	Краснозерское	KRAS	5985187,84	14384563,05	154,150
	Кочки	KOCK	6023077,39	14466407,22	167,360
	Чулым	CHUL	6108060,20	14497982,13	150,910
	Барабинск	BARA	6140710,82	14332689,72	130,130
20	Краснозерское	KRAS	5985138,94	14384944,28	154,150
	Каргат	KARG	6118957,76	14454483,24	145,510
	Ордынка	ORDN	6027315,43	14558860,12	137,410
	Здвинск	ZDVI	6066392,85	14349507,47	121,900
21	Довольное	DOVO	6042229,60	14413286,97	149,400
	Каргат	KARG	6118998,77	14454151,33	145,510

Номер варианта	Опорные пункты сети данного варианта		Координаты, м		
	название	аббревиатура	x	y	h
	Сузун	SUZU	5961850,36	14587075,69	162,200
	Кочененово	KOCH	6101076,32	14577087,40	170,070
22	Коченево	KOCH	6101071,21	14577059,79	170,070
	Сузун	SUZU	5961845,25	14587048,08	162,200
	Маслянино	MASL	6029486,05	14708805,61	191,360
	Мошково	MHKV	6134312,02	14666065,23	231,320
23	Искитим	ISKT	6059613,19	14648971,49	133,660
	Колывань	KOLV	6132848,13	14610545,28	159,330
	Болотное	BOLO	6176717,30	14713263,75	211,520
	Маслянино	MASL	6029094,31	14709173,45	191,360
24	Колывань	KOLV	6133196,07	14610183,53	159,330
	Черепаново	CHER	6013926,81	14654504,10	296,650
	Ордынка	ORDN	6027307,53	14558506,69	137,410
	Тогучин	TOGU	6129486,24	14716438,64	150,160
25	Маслянино	MASL	6029138,10	14709147,57	191,360
	Колывань	KOLV	6132891,92	14610519,40	159,330
	Ордынка	ORDN	6027003,38	14558842,56	137,410
	Тогучин	TOGU	6129182,09	14716774,51	150,160

Примечания:

1.Опорными при определении параметров трансформации между двумя системами координат (в лабораторной работе № 3 это СК ITRF и СК-95) являются пункты, координаты которых известны в обеих этих системах координат.

2.Для групп № 1 и № 2 в соответствующих вариантах используются идентичные опорные пункты. Однако, с учетом разных данных (дат) ГНСС-наблюдений и, соответственно, других результатов вычислений координат в СК-ITRF в лабораторной работе № 2, результаты вычисления параметров трансформации в лабораторной работе № 3 в идентичных вариантах будут различными.

3.Каталоги координат прилагаются к лабораторной работе № 3 также и в текстовом формате, удобном для импорта в ПО LGO.

4.Фактически в качестве координат пунктов СГС в государственной (референсной) системе координат СК-95 в данной лабораторной работе № 3 используются не истинные координаты в СК-95, а условные координаты, имитирующие СК-95. Эти координаты отличаются от истинных координат в СК-95 на случайные ве-

личины, находящиеся в пределах 200–300 м. Таким образом, эти условные координаты с методической точки зрения дают возможность пользоваться ими полноценно для выполнения лабораторной работы № 3 как истинными координатами в СК-95, однако закругление условных координат по отношению к истинным координатам СК-95 на случайные величины порядка 200–300 м позволяет использовать их в учебном процессе без режимных ограничений.

5. В качестве высоты h в каталоге дана нормальная (в терминологии ПО LGO – ортометрическая, *ortometric*) высота в принятой в Российской Федерации Балтийской системе высот 1977 г.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
по организации самостоятельной работы
по дисциплине

«Методы создания и развития государственных геодезических сетей»
для студентов направления подготовки 21.03.02 Землеустройство и кадастры

Ставрополь
2025

СОДЕРЖАНИЕ

Введение

1. Общая характеристика самостоятельной работы
2. План-график выполнения самостоятельной работы
3. Контрольные точки и виды отчетности по ним
4. Методические указания по изучению теоретического материала
5. Методические указания по видам работ
6. Список литературы, рекомендуемый к использованию в самостоятельной работе студентов

ВВЕДЕНИЕ

Самостоятельная работа студентов – планируемая учебная, учебно-исследовательская, научно-исследовательская работа студентов, выполняемая во внеаудиторное (аудиторное) время по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия (при частичном непосредственном участии преподавателя, оставляющем ведущую роль за работой студента).

Самостоятельная работа студента является важным видом учебной и научной деятельности студента. Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования предусматривается значительный объем времени из общей трудоемкости дисциплины на самостоятельную работу. В связи с этим, обучение включает в себя две, практически одинаковые по объему и взаимовлиянию части – процесса обучения и процесса самообучения. Поэтому самостоятельная работа должна стать эффективной и целенаправленной работой студента.

Концепцией модернизации российского образования определены основные задачи профессионального образования – подготовка квалифицированного работника соответствующего уровня и профиля, конкурентоспособного на рынке труда, компетентного, ответственного, свободно владеющего своей профессией и ориентированного в смежных областях деятельности, способного к эффективной работе по специальности на уровне мировых стандартов, готового к постоянному профессиональному росту, социальной и профессиональной мобильности.

Решение этих задач невозможно без повышения роли самостоятельной работы студентов над учебным материалом, усиления ответственности преподавателей за развитие навыков самостоятельной работы, за стимулирование профессионального роста студентов, воспитание творческой активности и инициативы.

Самостоятельная работа студента предполагает, прежде всего, его

научно-исследовательскую и практическую деятельность, поскольку именно эти виды учебной работы в первую очередь готовят к самостоятельному выполнению профессиональных задач.

Цель самостоятельной работы – дополнение и углубление знаний, умений и навыков, формируемых на аудиторных занятиях по дисциплине «Методы создания и развития государственных геодезических сетей», а также развитие аналитических и исследовательских умений, навыков использования справочных, научных, электронных и других источников информации.

В рамках самостоятельной работы по дисциплине «Методы создания и развития государственных геодезических сетей» формируются компетенции:

ПК-9 - Способен осуществлять планирование (проектирование), контроль и обработку инженерно-геодезических изысканий

Сформированные компетенции проверяются на дифференцированном зачете в третьем семестре.

Самостоятельная работа проводится в виде собеседования. Основной целью этих видов самостоятельной работы является улучшение профессиональной подготовки специалистов высшей квалификации, направленное на формирование действенной системы фундаментальных и профессиональных знаний, умений и навыков, которые они могли бы свободно и самостоятельно применять в практической деятельности.

В ходе организации самостоятельной работы решаются следующие задачи:

- углублять и расширять их профессиональные знания;
- формировать у них интерес к учебно-познавательной деятельности;
- научить студентов овладевать приемами процесса познания;
- развивать у них самостоятельность, активность, ответственность;
- развивать познавательные способности будущих специалистов.

В ходе постановки целей и задач необходимо учитывать, что их выполнение направлено не только на формирование общеучебных умений и навыков, но и определяется рамками данной предметной области.

Коды реализуемых компетенций, индикатора (ов)	Вид деятельности студентов	Итоговый продукт самостоятельной работы	Средства и технологии оценки
ПК-9 И-1, И-2	Подготовка к практическим занятиям	Конспект	Собеседование
ПК-9 И-1, И-2	Самостоятельное изучение литературы по темам 1 – 9	Конспект	Собеседование

ПЛАН – ГРАФИК ВЫПОЛНЕНИЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Наименование тем дисциплины	Вид самостоятельной работы	Средства и технологии оценки
Геодезические сети	Конспекты	Собеседование, опрос
Геодезические данные	Конспекты	Собеседование, опрос
Системы координат	Конспекты	Собеседование, опрос
Проекция Гаусса	Конспекты	Собеседование, опрос
Математическая обработка геодезических измерений	Конспекты	Собеседование, опрос
Спутниковые геодезические сети	Конспекты	Собеседование, опрос
Информационные системы и программное обеспечение для управления геодезическими сетями	Конспекты	Собеседование, опрос
Международные стандарты и сотрудничество в области геодезии.	Конспекты	Собеседование, опрос
Организация и автоматизация работы геодезических сетей	Конспекты	Собеседование, опрос

ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Вопросы для собеседования

1. Что такое государственная геодезическая сеть и какова её роль в обеспечении геодезических и картографических работ?
2. Какие основные типы государственных геодезических сетей вы знаете? В чем их отличия?
3. Какие методы и технологии используются для создания и развития государственных геодезических сетей?
4. Какие факторы необходимо учитывать при проектировании геодезической сети?
5. Объясните принципы определения точек в рамках государственной геодезической сети.
6. Какие основные нормативные документы регулируют создание и развитие геодезических сетей в вашей стране?
7. Какие современные технологические средства применяются для повышения точности и эффективности геодезических работ?
8. В чем заключается разница между классическими и спутниковыми методами геодезии?
9. Как осуществляется контроль и мониторинг состояния геодезической сети?
10. Какие основные задачи решаются при модернизации и расширении существующих геодезических сетей?
11. Что такое геодезические сети высокого и среднего класса? Чем они отличаются?
12. Какие сложности могут возникнуть при создании геодезической сети в сложных условиях (горные районы, сейсмически активные зоны)?
13. Объясните роль системы GNSS в современных геодезических сетях.
14. Какие методы обеспечения точности данных в государственных геодезических сетях вы знаете?

15. Какие перспективы развития государственных геодезических сетей вы видите в условиях цифровизации и автоматизации?

Список рекомендуемой литературы

1.Поклад, Г. Г. Инженерная геодезия : учебное пособие для вузов : [16+] / Г. Г. Поклад, С. П. Гриднев, Б. А. Попов. – Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2020. – 498 с. : ил., схем., табл. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=573923> (дата обращения: 19.05.2025). – Библиогр. в кн. – ISBN 978-5-4499-0686-1. – DOI 10.23681/573923. – Текст : электронный.

2.Обиденко, Владимир Иванович. Методы создания и развития государственных геодезических сетей. - Новосибирск : СГУГиТ, 2017. - 128 с. : ил., табл.; 20 см.; ISBN 978-5-87693-995-1 : 110 экз.

3.Аверченков, В. И. Система формирования знаний в среде Интернет : Монография / Аверченков В. И. - Брянск : Брянский государственный технический университет, 2012. - 181 с. - Книга находится в базовой версии ЭБС IPRbooks. - ISBN 5-89838-328-X

[illegible][illegible]

6. Ясницкий, Л. Н. Введение в искусственный интеллект : учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по мат. направлениям и специальностям / Л.Н. Ясницкий. - 3-е изд., стер. - М. : Академия, 2010. - 176 с. : ил. - (Высшее профессиональное образование. Информатика и вычислительная техника). - Библиогр.: с. 170-173. - ISBN 978-5-7695-7042-1